

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій КИРИЧУК
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
системи та технології в приладобудуванні»**

**зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»**

**на тему: «Система дистанційного моніторингу температури на основі
пірометрів із автоматичною передачею даних для подальшого
аналізу»**

Виконав :

студент II курсу, групи ПМ-31мп
Акуленко Олександр Сергійович _____

Науковий керівник:

д.п.н., проф.,
Протасов Анатолій Георгійович _____

Консультант з розробка стартап-проектів:

Завідувач кафедри економічної кібернетики,
Доктор економічних наук, професор
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:

д.т.н., проф.
Єременко Володимир Станіславович _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Акуленко Олександр Сергійович

1. Тема дисертації «Система дистанційного моніторингу температури на основі пірометрів із автоматичною передачею даних для подальшого аналізу», науковий керівник дисертації Протасов Анатолій Георгійович, проф, затверджені наказом по університету від «07» _____ Листопада _____ 2024 _____ р. №4987-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження : процес передавання даних з пірометра на сервер

4. Вихідні дані : предметом дослідження є методи безконтактного вимірювання температури, а також алгоритми обробки та передачі даних для подальшого аналізу

5. Перелік завдань, які потрібно розробити : Провести огляд сучасних методів дистанційного моніторингу температури, зокрема безконтактних технологій на основі пірометрів, з аналізом їх переваг, недоліків та сфер застосування. Дослідити існуючі системи для автоматичного вимірювання та передачі температурних даних, визначивши особливості та обмеження аналогів. Розробити архітектуру системи дистанційного моніторингу температури з урахуванням вимог до надійності, точності вимірювань, енергоефективності та зручності у використанні. Розробити алгоритми обробки даних із пірометра MLX90614, що забезпечують точне вимірювання температури та коректне перетворення сигналів у зручний для аналізу формат. Створити алгоритми для оптимальної передачі даних через модуль ESP-01 на хмарну платформу ThingSpeak із мінімізацією затримок та забезпеченням стабільності з'єднання. Виконати тестування системи на основі тестових та реальних даних, оцінюючи її точність, продуктивність та відповідність заданим технічним вимогам. Здійснити аналіз продуктивності та стабільності системи в умовах різного навантаження та можливих перешкод у передачі даних. Підготувати звіт із результатами роботи, висновками щодо ефективності системи та рекомендаціями для її подальшого вдосконалення.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Структурна схема, Функціональна схема, Складальний кресленик, Схема електрична принципова, Алгоритм, Креслення корпусу, Креслення передньої кришки, Креслення задньої кришки, Ілюстрація та робота

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Завідувач кафедри економічної кібернетики, Доктор економічних наук, професор Бояринова Катерина Олександрівна		

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	19.09.2024	
2	Проведення аналітичного огляду	30.09.2024	
3	Розрахунок параметрів	05.10.2024	
4	Створення алгоритмів	10.10.2024	
5	Підбір компонентів	20.10.2024	
6	Розробка креслеників	15.11.2024	
7	Розробка стартап-проекту	20.11.2024	
8	Формулювання висновків та оформлення пояснювальної записки та презентації	22.11.2024	

Студент

Олександр АКУЛЕНКО

Науковий керівник

Анатолій ПРОТАСОВ

РЕФЕРАТ

Актуальність теми

Тема даної роботи пов'язана з ефективним моніторингом температури навколишнього середовища, що має велике значення для забезпечення комфорту та безпеки людини. Температурний режим у різних умовах впливає на якість життя та здоров'я, тому моніторинг температури є важливим аспектом для різних галузей, таких як промисловість, наука, медицина, а також для побутових потреб. Використання традиційних методів вимірювання температури обмежене через їхню високу вартість або складність. Тому розробка доступної, зручної та портативної системи для вимірювання і моніторингу температури в реальному часі є актуальною на сьогоднішній день.

Завдяки розвитку нових технологій з'являється можливість удосконалити існуючі системи, зменшити їх вартість, підвищити точність вимірювань та швидкість передачі даних. У рамках цієї магістерської дисертації було спроектовано систему, що базується на використанні пірометра MLX90614, яка реалізує алгоритм обробки даних та передачі результатів на хмарну платформу через бездротове з'єднання Wi-Fi за допомогою модуля ESP-01. Система забезпечує реєстрацію температури, передачу даних на платформу ThingSpeak, де відбувається їх аналіз, візуалізація та сповіщення користувача при перевищенні заданих температурних порогів.

Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є удосконалення алгоритму обробки сигналів та оптимізація алгоритму обчислення температури для підвищення точності та швидкості передачі даних.

Для досягнення цієї мети були вирішені наступні задачі:

1. Аналіз існуючих методів вимірювання температури та систем моніторингу.
2. Розробка алгоритму обробки даних для точного вимірювання температури.
3. Оптимізація алгоритму для швидкої передачі даних через модуль ESP-01 на платформу ThingSpeak.
4. Створення автоматизованої системи моніторингу температури з відображенням результатів у реальному часі.

Об'єктом дослідження є процеси дистанційного вимірювання та обробки сигналів від пірометрів у системах автоматизованого контролю температури. Предметом дослідження є методи безконтактного вимірювання температури, а також алгоритми обробки та передачі даних для подальшого аналізу.

Методи дослідження базуються на теорії безконтактного вимірювання температури, обробці сигналів від датчиків, а також алгоритмах передачі даних через бездротові технології для візуалізації та аналізу інформації.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Удосконалено систему дистанційного моніторингу температури на основі пірометра MLX90614, шляхом застосування розробленого алгоритму для оптимізованої передачі температурних даних через модуль ESP-01 на платформу ThingSpeak.

Ключові слова

Моніторинг температури, пірометр MLX90614, бездротова передача даних, ESP-01, автоматизація процесу, ThingSpeak, алгоритм обробки температурних даних, візуалізація даних

Abstract

Relevance of the Topic

The topic of this work is related to the effective monitoring of ambient temperature, which is crucial for ensuring human comfort and safety. Temperature conditions in various environments significantly impact the quality of life and health, making temperature monitoring an essential aspect for industries such as manufacturing, science, medicine, and domestic applications. Traditional temperature measurement methods are often limited due to their high cost or complexity. Therefore, the development of an affordable, convenient, and portable system for real-time temperature measurement and monitoring is highly relevant today.

The advancement of new technologies offers opportunities to improve existing systems by reducing costs, increasing measurement accuracy, and enhancing data transmission speed. As part of this master's thesis, a system was designed based on the MLX90614 pyrometer, which implements a data processing algorithm and transmits results to a cloud platform via a Wi-Fi connection using the ESP-01 module. The system ensures temperature registration, data transmission to the ThingSpeak platform, and allows for analysis, visualization, and user notification when predefined temperature thresholds are exceeded.

Objective and Research Tasks

The objective of the research is to improve signal processing algorithms and optimize temperature calculation algorithms to enhance measurement accuracy and data transmission speed.

To achieve this objective, the following tasks were accomplished:

1. Analysis of existing temperature measurement methods and monitoring systems.

2. Development of a data processing algorithm for accurate temperature measurement.
3. Optimization of the algorithm for rapid data transmission via the ESP-01 module to the ThingSpeak platform.
4. Creation of an automated temperature monitoring system with real-time result visualization.

The object of the study is the processes of remote measurement and signal processing from pyrometers in automated temperature control systems. The subject of the study is the methods of non-contact temperature measurement, as well as algorithms for processing and transmitting data for further analysis.

The research methods are based on the theory of non-contact temperature measurement, sensor signal processing, and algorithms for wireless data transmission for information visualization and analysis.

Scientific Novelty of the Results Obtained

1. A remote temperature monitoring system based on the MLX90614 pyrometer has been improved by applying a developed algorithm for optimized temperature data transmission via the ESP-01 module to the ThingSpeak platform.

Keywords

Temperature monitoring, MLX90614 pyrometer, wireless data transmission, ESP-01, process automation, ThingSpeak, temperature data processing algorithm, data visualization.

ЗМІСТ

Вступ	10
РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи системи дистанційного моніторингу	
температури.....	12
1.1. Актуальність дистанційного моніторингу температури в сучасних технологіях.....	12
1.2 Точність вимірювання	13
1.3. Надійність передачі даних	13
1.4. Енергоефективність	14
1.5. Легкість інтеграції з іншими елементами виробничого процесу та системами управління.....	14
1.6. Теорія пірометрії	15
1.7. Принципи роботи пірометрів.....	15
РОЗДІЛ 2. Різновиди пірометрів.....	23
2.1. За спектральним діапазоном	23
2.2. Інфрачервоні пірометри.....	24
2.3. Ультрафіолетові пірометри.....	26
2.4. Порівняння пірометрів за спектральним діапазоном	27
2.5. Класифікація пірометрів за принципом вимірювання	28
2.6. Одноколірні пірометри	28
2.7 Двоколірні (співвідношувальні) пірометри.....	30
2.8. Порівняння пірометрів за спектральним діапазоном	31
2.9. Порівняння пірометрів за спектральним діапазоном	32
2.10. Портативні пірометри.....	32
2.11. Стаціонарні пірометри.....	34
2.12. Порівняння портативних та стаціонарних пірометрів.....	35
2.13. Рівні передачі даних	36

2.14. Типи передачі даних	40
2.15. Протоколи передачі даних	43
2.16. Параметри передачі даних	47
Висновок до розділу :	51
РОЗДІЛ 3. Розробка структурної.	52
3.1. Структурна схема	52
3.2. Обґрунтування вибору інфрач. дитчика	54
3.3. Розрахунок показника візування	58
3.4. Рішення для бездротової передачі даних.....	63
3.5. Вибір мікроконтролера	67
3.6. Обґрунтування вибору платформи для реалізації серверної частини системи	71
Висновок до розділу.....	73
Розділ 4. розробка програмних алгоритмів	74
4.1. Налаштування STM.....	74
4.2. Алгоритм роботи STM.....	77
4.3. Опис роботи коду проекту	79
Висновок до розділу.....	84
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ	86
5.1. Опис ідеї проекту технології	86
5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	101
5.3. Розроблення ринкової стратегії проекту	119
4.5. Організація реалізації стартап-проекту	133
Висновки до 5 розділу.....	137
Висновки	138
Список використаних джерел:	139

ВСТУП

Тема дистанційного моніторингу температури набуває особливої актуальності у сучасному світі, де автоматизація процесів, безпека та ефективність є ключовими аспектами промислового виробництва, енергетики, медицини, транспорту та багатьох інших галузей. Контроль температури відіграє важливу роль у підтриманні належного функціонування обладнання, збереженні якості продукції та запобіганні виникненню аварійних ситуацій. Однак ручний моніторинг температури часто є недостатньо швидким і надійним, а також потребує постійної участі людини, що підвищує ризик помилок і затрати ресурсів.

У зв'язку з цим безконтактні технології вимірювання, зокрема на основі пірометрії, стають ключовими компонентами систем дистанційного контролю. Пірометричні пристрої дозволяють отримувати точні дані про температуру на відстані, що робить їх незамінними у складних умовах, де традиційні методи вимірювання є неможливими або небезпечними. Вдосконалення таких систем за рахунок інтеграції автоматичної передачі даних дозволяє значно спростити процес моніторингу, підвищити його швидкість і точність, а також знизити операційні витрати.

Мета магістерської дисертації — розробка системи дистанційного моніторингу температури на основі пірометрів із автоматичною передачею даних для подальшого аналізу, що забезпечить надійний контроль за температурними змінами у реальному часі.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні технологій пірометрії з сучасними методами автоматичної передачі даних, що дозволяє створити компактну, енергоефективну і функціональну систему для дистанційного моніторингу температури в режимі реального часу.

Практичне значення дослідження полягає в можливості застосування розробленої системи у промислових умовах, де температурний контроль є критичним фактором. Запропонована система дозволить своєчасно виявляти

відхилення у температурному режимі, мінімізуючи ризики аварій, покращуючи безпеку та ефективність виробничих процесів.

Таким чином, розробка системи дистанційного моніторингу температури на основі пірометрів із автоматичною передачею даних є важливим кроком на шляху до забезпечення високої точності вимірювань, швидкості реагування та зниження витрат на обслуговування у різних галузях, що підтверджує актуальність і значущість даної теми.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ

1.1. Актуальність дистанційного моніторингу температури в сучасних технологіях

Забезпечення постійного контролю температури є одним із ключових завдань у багатьох галузях, починаючи від промисловості і закінчуючи медициною та сільським господарством. Надійне і точне вимірювання температури дозволяє своєчасно виявляти аномальні зміни, що можуть призвести до неполадок обладнання, зниження якості продукції або створення небезпечних умов для працівників. У сучасному світі, де автоматизація процесів на виробництві стає все більш поширеною, постає проблема ефективного і швидкого отримання даних з місць, де присутність людини або недоцільна, або небезпечна.

В умовах зростаючої інтенсивності промислового виробництва та підвищення стандартів безпеки, актуальність дистанційного моніторингу температури зростає. Застосування традиційних методів контролю, таких як ручне вимірювання, не завжди забезпечує достатню швидкість реакції та потребує участі персоналу, що підвищує ризик людських помилок і збільшує затрати часу і ресурсів. Саме тому автоматичні системи моніторингу, здатні безперервно і в режимі реального часу передавати дані про температуру, є необхідним елементом сучасних інженерних рішень.

Незважаючи на стрімкий розвиток технологій, дистанційний моніторинг температури має ряд викликів. Одним із них є точність та надійність вимірювань, що може залежати від умов експлуатації: наявність пилу, вібрації, зміни погодних умов тощо. Ще одним викликом є забезпечення ефективної передачі даних, особливо в умовах віддаленості або обмеженої доступності мереж зв'язку.

Сучасні вимоги систем моніторингу зображені на рис 1 :

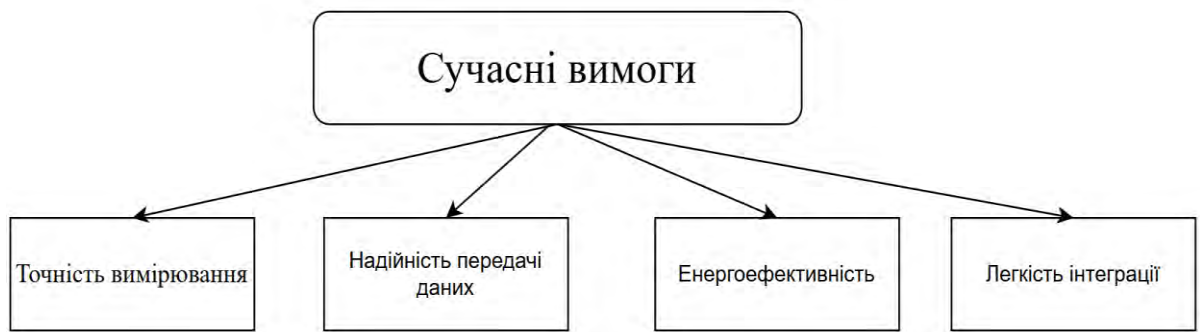


Рис 1. Сучасні вимоги систем моніторингу

1.2 Точність вимірювання

Забезпечення високої точності вимірювання є ключовою вимогою до сучасних систем моніторингу, особливо в умовах, де навіть невеликі коливання температури можуть мати значний вплив на безпеку і продуктивність процесів. У промислових умовах можуть виникати[1] динамічно змінні фактори, такі як коливання температури навколишнього середовища, вологість, наявність пилу чи диму, які можуть спотворювати результати вимірювання. Сучасні системи моніторингу температури мають враховувати ці фактори, щоб мінімізувати похибку та зберігати стабільність вимірювань за різних умов. Досягнення цього вимагає використання високочутливих сенсорів і алгоритмів корекції похибок.

1.3. Надійність передачі даних

Для того щоб система могла оперативно реагувати на зміни в температурному режимі, необхідно забезпечити безперебійну передачу даних із пірометрів на центральний сервер або базу даних. Часто система моніторингу працює у важкодоступних місцях, де традиційні методи зв'язку, як-от Wi-Fi або мобільна мережа, можуть бути обмеженими. У таких випадках застосовуються технології передачі даних, здатні забезпечити стабільний зв'язок навіть у складних умовах. До таких технологій належать LoRaWAN, яка забезпечує довготривалу передачу даних на великі відстані, або ж спеціалізовані промислові мережі з високим рівнем захисту та стабільності. Стабільність каналу зв'язку також забезпечує швидке виявлення аномалій і своєчасну реакцію на них..

1.4. Енергоефективність

Для роботи в умовах віддаленості від джерел енергії сучасні системи моніторингу повинні мати тривалу автономну роботу. Це може бути забезпечено за допомогою низько-енергетичних сенсорів, оптимізації роботи мікроконтролерів та використання енергоефективних технологій передачі даних. Енергоефективність дозволяє зменшити обсяг обслуговування, пов'язаний із заміною або підзарядкою батарей, що особливо важливо в умовах, де технічне обслуговування системи є ускладненим або дорогим. Високий рівень енергоефективності також сприяє триваломутерміну експлуатації системи і знижує загальні витрати на обслуговування.

1.5. Легкість інтеграції з іншими елементами виробничого процесу та системами управління

Оскільки системи моніторингу температури часто є частиною складної інфраструктури, вони повинні легко інтегруватися з іншими системами управління та автоматизації виробництва. Це передбачає можливість підключення до SCADA-систем, промислових контролерів (PLC), або баз даних для збору і аналізу даних. Легкість інтеграції досягається шляхом використання відкритих протоколів передачі даних (як-от Modbus, OPC UA) та сумісності з поширеними інтерфейсами обміну даними. Інтеграція з іншими елементами виробничого процесу дозволяє не тільки автоматично реагувати на зміни температури, а й виводити аналітичні дані для оптимізації процесів і прогнозування можливих збоїв.

1.6. Теорія пірометрії

Пірометрія — це галузь науки та техніки, яка займається вимірюванням температури об'єктів безконтактним способом шляхом аналізу їхнього теплового випромінювання. Цей метод базується на фундаментальних законах термо-радіації та є незамінним у ситуаціях, де контактні методи вимірювання неможливі або небажані.

1.7. Принципи роботи пірометрів

Основу пірометрії складають фізичні принципи теплового випромінювання. Згідно із законом Планка, будь-яке тіло з температурою вище абсолютного нуля випромінює електромагнітну енергію. Інтенсивність та спектральний розподіл цього випромінювання залежать від температури та властивостей поверхні об'єкта.

Температуру нагрітого тіла вимірюють, аналізуючи його теплове випромінювання, що складається з різних електромагнітних хвиль. Чим більше енергії випромінює об'єкт, тим вища його температура. Усі нагріті тіла виділяють теплове випромінювання, яке стає видимим людському оку при температурі близько 500-600 °С.[2] При цьому яскравість випромінювання швидко зростає з підвищенням температури.

Коли тверді тіла нагріваються, вони випромінюють спектр енергії, що охоплює широкий діапазон електромагнітних хвиль із різною довжиною. На рисунку 1 представлено графічне зображення цього спектра, що дозволяє візуально оцінити його характеристики.

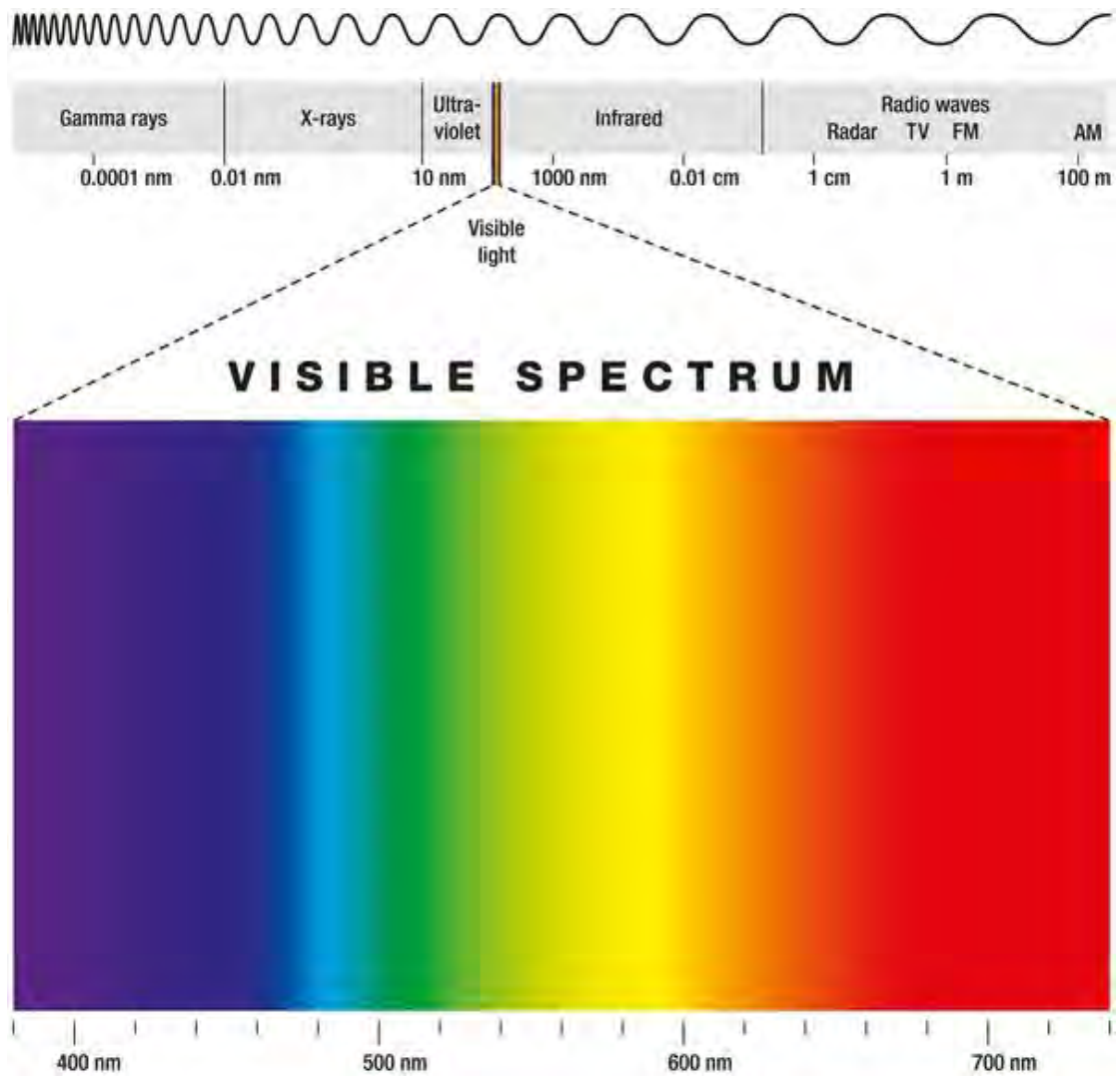


Рис. 2. Графічне зображення електромагнітного спектра

Електромагнітне випромінювання, яке може бачити людське око, становить лише вузький діапазон усього в 0,35 мкм, що охоплює хвилі довжиною від 0,40 до 0,75 мкм. Хвилі довжиною менше 0,40 мкм потрапляють в ультрафіолетову область спектра і є невидимими для ока. Діапазон від 0,75 мкм до 400 мкм належить до інфрачервоного випромінювання, яке слідує за ним, а далі розташовані радіохвилі. Для вимірювання температури часто використовуються видима частина спектра та інфрачервоне випромінювання.

Технологія безконтактного вимірювання температури, що ґрунтується на тепловому випромінюванні об'єктів у видимому спектрі, називається пірометрією. Контроль температури нагрітих тіл у цій сфері базується на фізичних закономірностях, відомих для чорного тіла. Абсолютно чорне тіло

(АЧТ) – це об'єкт, що повністю поглинає будь-яке випромінювання незалежно від його довжини хвилі та температури.

В основі роботи пірометрів лежать закони, які описують теплове випромінювання. Одним із головних є закон Кірхгофа, який стосується лише теплового випромінювання. Він стверджує, що співвідношення між здатністю матеріалу випромінювати (E) та поглинати (A) енергію є постійним для всіх тіл за певної температури (T) і не залежить від форми, хімічного складу чи інших характеристик тіла.

$$\frac{E(\lambda, T)}{A(\lambda, T)} = e(\lambda, T) \quad (1.1)$$

Отже, якщо тіло при певній температурі (T) і довжині хвилі (λ) поглинає більше енергії, воно також випромінює більше енергії за тих самих умов. Чорні поверхні, які мають високий коефіцієнт поглинання, ефективно вбирають випромінювання і є хорошими випромінювачами. На відміну від них, блискучі поверхні мають низьку здатність поглинати світло і, відповідно, мають низький коефіцієнт випромінювання. Реальні тіла зазвичай мають коефіцієнт поглинання менше 1, тобто вони випромінюють менше енергії порівняно з абсолютно чорним тілом.

Тіла, що мають однакову здатність до поглинання на всіх довжинах хвиль, називаються "сірими тілами" і мають спектр, подібний до спектра абсолютно чорного тіла. Здебільшого здатність тіл до поглинання залежить від довжини хвилі і температури, тому їхній спектр може значно відрізнятися від спектра абсолютно чорного тіла.

У 1900 році Макс Планк висунув гіпотезу про квантове випромінювання та запропонував функцію $f(\lambda, T)$, яка точно відповідала експериментальним спостереженням. Це дозволило вивести аналітичний вираз для випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла[3].

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} * \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} \quad (1.2)$$

T – абсолютна температура тіла;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла у вакуумі;

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка.

λ – довжина хвилі;

Графік розподілу енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла для різних температур демонструє, що максимальні значення кривих зазвичай знаходяться в інфрачервоній області спектра. Заштрихована частина графіка відображає діапазон від 0,4 до 0,75 мкм, який відповідає видимому спектру, і показує ту частину випромінюваної енергії, що спостерігається за вказаної температури.

На рисунку 2. можна побачити, як функція $f(\lambda, T)$ змінюється залежно від довжини хвилі при різних температурах. Ця функція має яскраво виражений пік, що змінює своє положення зі зміною температури: з підвищенням температури значення функції зростають по всьому спектру, а пік зсувається в сторону коротших хвиль.

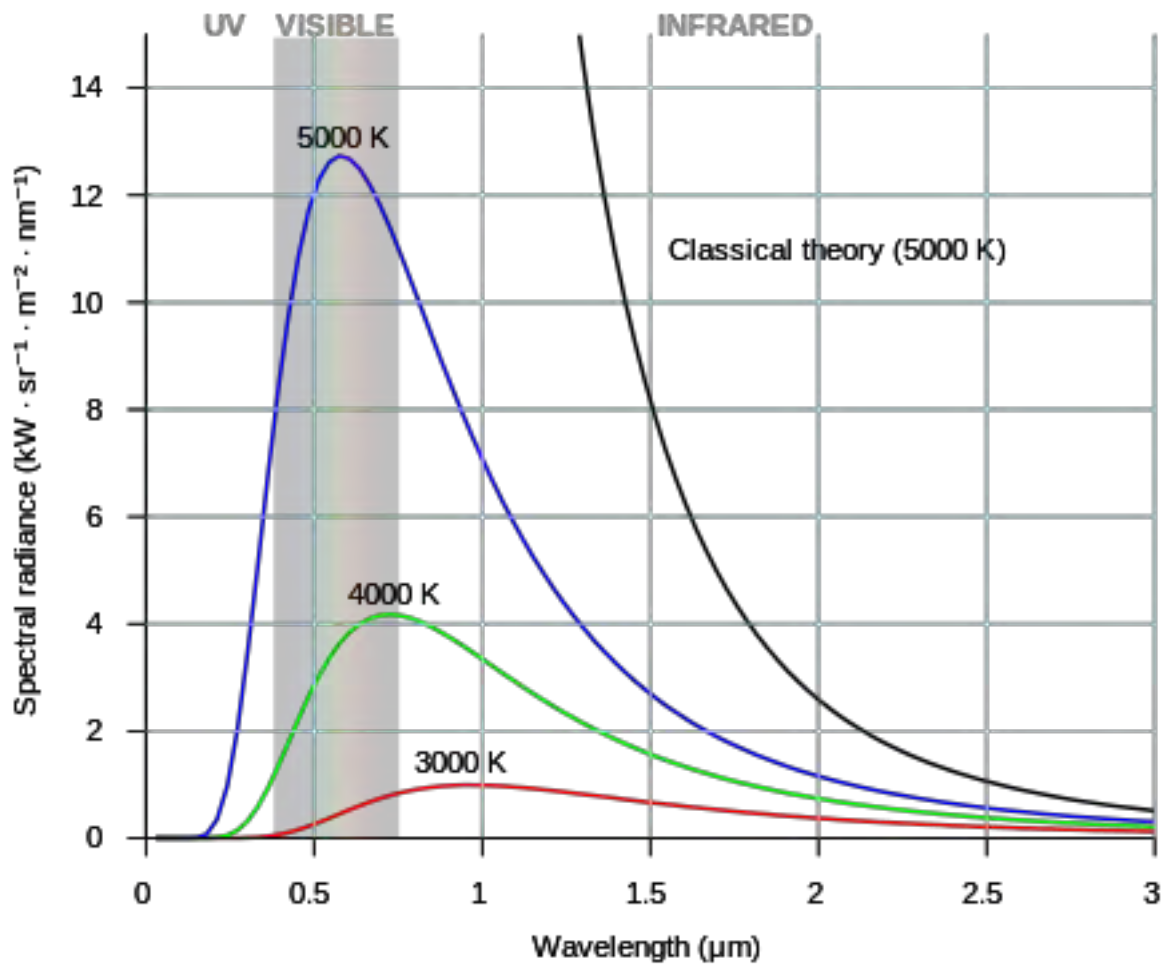


Рис. 3. Розподіл випромінювання за спектром при різних температурах
 Науковий дует Стефана та Больцмана, використовуючи термодинамічний підхід, довів, що випромінювальна здатність (q) абсолютно чорного тіла пропорційна четвертому ступеню його абсолютної температури (T).

$$q = \sigma * T^4 \quad (1.3)$$

де $\sigma = 5.67 * 10^{-8} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right) / \text{K}^4$ – стала Стефана-Больцмана.

Закон Стефана-Больцмана показує, що будь-які об'єкти в навколишньому просторі випромінюють енергію, оскільки їхня температура перевищує абсолютний нуль, що становить $-273 \text{ }^\circ\text{C}$. За цим законом, якщо абсолютна температура подвоюється, то випромінювальна потужність зростає в 16 разів.

Для врахування сірих тіл необхідно помножити результат на коефіцієнт випромінювання тіла, який завжди менший за 1. Варто зазначити, що цей закон описує лише загальну випромінювану енергію.

Німецький фізик Вільгельм Він досяг важливих відкриттів у термодинаміці випромінювання. Він першим сформулював закон, що визначає положення максимуму енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла. Цей закон демонструє, як зміщується максимум розподілу енергії у спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла при зміні температури.

Закон зміщення Віна стверджує, що довжина хвилі ($\lambda_{\text{макс}}$), при якій спостерігається максимум енергії в спектрі рівноважного випромінювання, обернено пропорційна абсолютній температурі (T) абсолютно чорного тіла.

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{b}{T} \quad (1.4)$$

Де $b = 2.89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – стала Віна

Закони Планка і Віна пояснюють явище, за якого речовина починає випромінювати світло в видимому діапазоні при нагріванні. Ці закони демонструють, що зі зростанням температури об'єкта все більше випромінюється на коротших хвилях. Приблизно при температурі 500°C це випромінювання стає видимим для людського ока. При зниженні температури нагрітих тіл починає домінувати довгохвильове випромінювання, що може змінити колірну температуру, наприклад, коли охолоджуваний метал змінює колір з білого на червоний.

У пірометрії під час вимірювання температури за допомогою закону теплового випромінювання виділяють три види температур: яскравісну, колірну і радіаційну.

Для конкретного тіла яскравісна температура $T_{\text{я}}$ визначається як температура, за якої спектральна енергетична яскравість абсолютно чорного тіла дорівнює яскравості реального тіла при його фактичній температурі T . Зв'язок

між реальною температурою тіла і яскравісною температурою виражається наступним чином:

$$T_{\partial} = \left(\frac{1}{T_{\text{я}}} - \frac{\lambda}{C} \ln\left(\frac{1}{\varepsilon_{\lambda}}\right) \right)^{-1} \quad (1.5)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання;

ε_{λ} – ступінь чорноти тіла для даної довжини хвилі.

C – стала Віна;

Завжди виконується умова $0 < \varepsilon_{\lambda} < 1$, тому яскравісна температура будь-якого фізичного тіла завжди є нижчою за його фактичну температуру.

Зв'язок між дійсною температурою тіла та колірною температурою T_k олягає в тому, що колірна температура T_k відповідає такій температурі, при якій відношення енергетичних яскравостей на двох довжинах хвиль λ_1 та λ_2 збігається з відношенням енергетичних яскравостей реального тіла при температурі T_{∂} на тих самих довжинах хвиль.

$$T_{\partial} = \left(\frac{1}{T} - \frac{\ln\left(\frac{\varepsilon_{\lambda_2}}{\varepsilon_{\lambda_1}}\right)}{C \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)} \right)^{-1} \quad (1.6)$$

де $\varepsilon_{\lambda_1}, \varepsilon_{\lambda_2}$ – ступінь чорноти тіла для довжин хвиль λ_1, λ_2 ;

C – стала Віна.

Слід зазначити, що для сірих тіл, де коефіцієнт випромінювання залишається незмінним у певному спектральному діапазоні (тобто $\varepsilon_{\lambda_1} = \varepsilon_{\lambda_2}$), колірна температура збігається з фактичною температурою. Це робить колірний метод вимірювання температури більш ефективним порівняно з радіаційним і яскравісним, оскільки колірна температура завжди є меншою за дійсну температуру.

Проте для тіл, зокрема металів, у яких коефіцієнт випромінювання зменшується з ростом довжини хвилі ($\varepsilon_{\lambda_2} < \varepsilon_{\lambda_1}$), колірна температура буде перевищувати фактичну. Навпаки, для неметалічних матеріалів, у яких коефіцієнт випромінювання зростає зі збільшенням довжини хвилі ($\varepsilon_{\lambda_2} > \varepsilon_{\lambda_1}$), колірна температура буде нижчою за реальну.

Формула, яка описує залежність між радіаційною температурою T_r реального тіла і його фактичною температурою (T_∂), виглядає так:

$$T_\partial = T_p \sqrt{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (1.7)$$

де ε – ступінь чорноти фізичного тіла для всіх довжин хвиль.

Оскільки коефіцієнт випромінювання (ε) завжди має значення від 0 до 1, радіаційна температура завжди буде нижчою за фактичну температуру тіла. Варто зазначити, що точні значення коефіцієнтів випромінювання для різних матеріалів можна знайти в спеціалізованих довідниках або визначити за допомогою спеціальних методів вимірювання

РОЗДІЛ 2. РІЗНОВИДИ ПІРОМЕТРІВ

Пірометр – це безконтактний прилад, що використовується для вимірювання температури об'єктів. Його робота заснована на вимірюванні інтенсивності випромінювання, яке нагріті тіла випромінюють в інфрачервоному та видимому спектральних діапазонах. Принцип роботи полягає у встановленні зв'язку між інтенсивністю цього випромінювання і температурою, за якої воно виникає.

Пірометри класифікуються за різними ознаками, що відображають їхні функціональні можливості та сфери застосування. Основні класифікаційні ознаки включають спектральний діапазон, принцип вимірювання та конструктивні особливості приладів.



Рис. 4. Типи пірометрів

2.1. За спектральним діапазоном

Пірометри класифікуються за спектральним діапазоном, в якому вони здійснюють вимірювання температури об'єктів. Вибір спектрального діапазону визначається температурним діапазоном вимірювань та властивостями випромінювання об'єкта. Основними типами за цією класифікацією є інфрачервоні та ультрафіолетові пірометри.

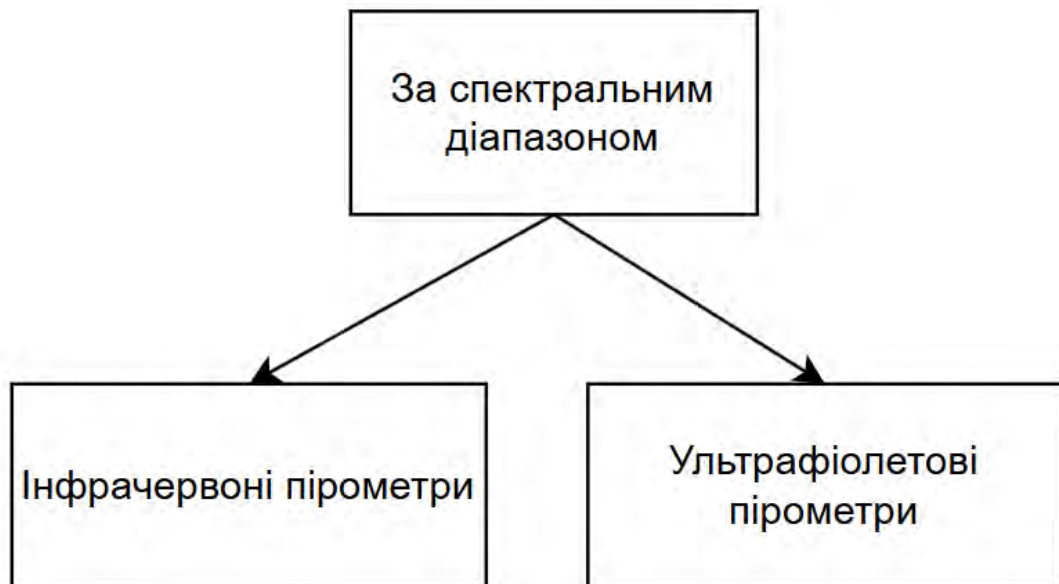


Рис. 5. Розподіл за спектральним діапазоном.

2.2. Інфрачервоні пірометри

Інфрачервоні пірометри використовують інфрачервоний (ІЧ) діапазон електромагнітного спектра, який охоплює довжини хвиль від 0,7 до 14 мкм. Цей спектральний діапазон дозволяє вимірювати температури в широкому інтервалі від -50°C до 3000°C , що робить інфрачервоні пірометри універсальними приладами для різних галузей[4].

Принцип дії інфрачервоних пірометрів базується на вимірюванні інтенсивності інфрачервоного випромінювання, яке випромінює об'єкт залежно від його температури згідно із законом Планка. Детектор пірометра сприймає це випромінювання та перетворює його в електричний сигнал, який обробляється для визначення температури об'єкта.

Переваги :

- Універсальність: Здатність вимірювати широкий діапазон температур дозволяє використовувати інфрачервоні пірометри в різних галузях промисловості.

- **Безконтактність:** Вимірювання на відстані забезпечує безпеку та зручність, особливо при роботі з небезпечними або важкодоступними об'єктами.
- **Швидкодія:** Миттєве отримання результатів вимірювання дозволяє оперативно реагувати на зміни температури.
- **Висока точність:** Сучасні інфрачервоні пірметри оснащені високочутливими детекторами та можуть мати похибку вимірювання в межах $\pm 1^\circ\text{C}$ або менше.

Застосування:

- **Промисловість:** Контроль температури в процесах плавки металів, виробництва скла, кераміки, цементу.
- **Будівництво:** Тепловізійна діагностика будівель для виявлення тепловтрат, дефектів ізоляції.
- **Енергетика:** Моніторинг стану електричного обладнання, виявлення перегрівів контактів, трансформаторів.
- **Медицина:** Безконтактне вимірювання температури тіла, що особливо актуально в умовах епідемій.
- **Наука та дослідження:** Вивчення теплових процесів, термодинамічні експерименти.

Обмеження

- **Емісивність об'єкта:** Для точних вимірювань необхідно знати коефіцієнт емісивності матеріалу об'єкта.
- **Вплив атмосфери:** Вологість, пил, дим можуть поглинати або розсіювати інфрачервоне випромінювання, впливаючи на результати.
- **Відбивання:** Блискучі або дзеркальні поверхні можуть відбивати навколишнє випромінювання, спотворюючи вимірювання.

2.3. Ультрафіолетові пірометри

Ультрафіолетові пірометри працюють в ультрафіолетовому (УФ) діапазоні спектра, який охоплює довжини хвиль менше 0,4 мкм. Ці прилади призначені для вимірювання дуже високих температур, зазвичай понад 2000°C, де об'єкти починають випромінювати значну кількість ультрафіолетового випромінювання.

Особливості та переваги :

- Вимірювання екстремально високих температур: Дозволяють контролювати процеси, де інші прилади неефективні.
- Зменшений вплив емісивності: У високотемпературному діапазоні вплив змін емісивності матеріалу на результати менший.
- Мала чутливість до атмосферних завад: Короткі довжини хвиль менше поглинаються водяною паром та вуглекислим газом.

Застосування :

- Металургія високих температур: Контроль процесів виплавки сталі, титану, інших металів з високими температурами плавлення.
- Виробництво напівпровідників: Моніторинг температури при рості кристалів, нанесенні покриттів.
- Аерокосмічна промисловість: Тестування матеріалів та компонентів, що працюють в умовах високих температур, наприклад, в двигунах ракет.

Обмеження :

- Складність конструкції: Потребують спеціальних детекторів та оптики, стійких до УФ-випромінювання.
- Висока вартість: Через складність технології ультрафіолетові пірометри є дорожчими порівняно з інфрачервоними.

- Обмежений діапазон застосувань: Використовуються лише в спеціалізованих галузях з екстремальними температурами.

2.4. Порівняння пірометрів за спектральним діапазоном

Параметр	Інфрачервоні пірометри	Ультрафіолетові пірометри
Спектральний діапазон	0,7–14 мкм (інфрачервоний)	<0,4 мкм (ультрафіолетовий)
Температурний діапазон	-50°C до 3000°C	-50°C до 3000°C
Застосування	Широкі галузі: промисловість, будівництво, медицина	Широкі галузі: промисловість, будівництво, медицина
Переваги	Універсальність, доступність, безконтактність	Універсальність, доступність, безконтактність
Обмеження	Вплив емісивності та атмосфери, відбивання	Вплив емісивності та атмосфери, відбивання

Табл. 1. Порівняння пірометрів за спектральним діапазоном

Класифікація пірометрів за спектральним діапазоном дозволяє обрати прилад, що найкраще відповідає вимогам конкретного завдання. Інфрачервоні пірометри є універсальними та широко використовуються в різних галузях завдяки своєму широкому температурному діапазону та доступності. Ультрафіолетові пірометри спеціалізуються на вимірюванні екстремально високих температур та застосовуються в галузях з особливими вимогами.

Розуміння особливостей та обмежень кожного типу пірометрів є ключовим для правильного вибору обладнання та забезпечення точності вимірювань в системах дистанційного моніторингу температури.

2.5. Класифікація пірометрів за принципом вимірювання

Пірометри можна класифікувати за принципом вимірювання температури об'єкта, що базується на способі аналізу випромінюваної енергії[5]. Основними типами за цією класифікацією є одноколірні та двоколірні (співвідношувальні) пірометри.

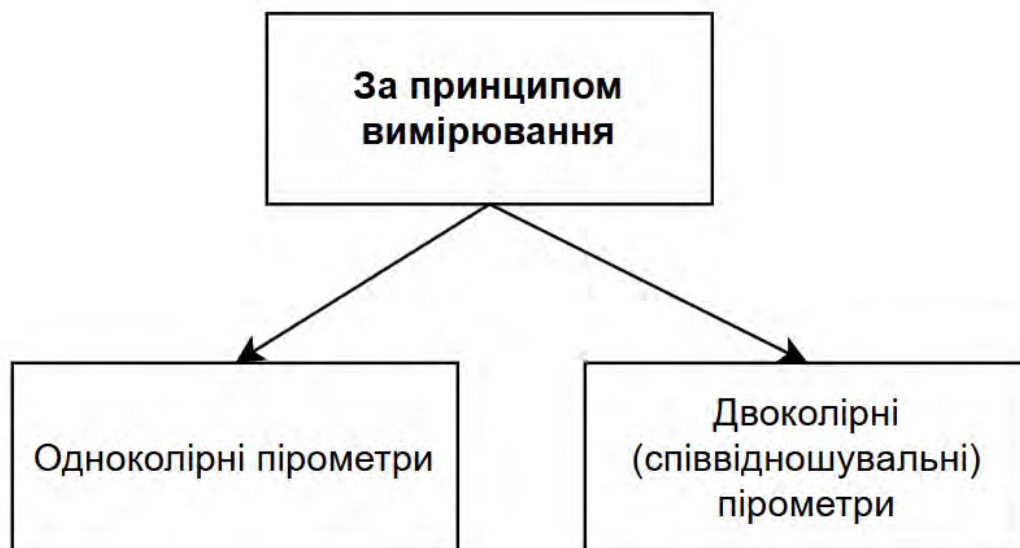


Рис. 6. Розподіл за принципом вимірювання.

2.6. Одноколірні пірометри

Одноколірні пірометри вимірюють інтенсивність теплового випромінювання об'єкта на одній довжині хвилі або у вузькому спектральному діапазоні. Принцип роботи цих приладів базується на законі Планка, який описує залежність інтенсивності випромінювання від температури та довжини хвилі.

Випромінювання від об'єкта фокусується оптичною системою на детектор, чутливий до певної довжини хвилі. Детектор перетворює отримане випромінювання в електричний сигнал, пропорційний інтенсивності.

Враховуючи коефіцієнт емісивності матеріалу об'єкта, прилад обчислює температуру за допомогою закону випромінювання.

Особливості та переваги :

- Простота конструкції: Одноколірні пірметри мають просту оптичну та електронну схему, що робить їх доступними та надійними.
- Швидкодія: Забезпечують миттєве вимірювання температури, що важливо для динамічних процесів.
- Економічність: Відносно низька вартість робить їх привабливими для широкого спектра застосувань.

Недоліки та обмеження :

- Залежність від емісивності: Точність вимірювань сильно залежить від правильного встановлення коефіцієнта емісивності. Зміна емісивності об'єкта під час процесу може призвести до похибок.
- Вплив навколишнього середовища: Пил, дим, вологість та інші фактори можуть впливати на інтенсивність випромінювання, спотворюючи результати.

Застосування :

- Металургія: Контроль температури металевих заготовок при термообробці.
- Хімічна промисловість: Моніторинг температури реакторів та печей.
- Енергетика: Вимірювання температури обладнання для запобігання перегрівам.

2.7 Двоколірні (співвідношувальні) пірометри

Двоколірні пірометри вимірюють співвідношення інтенсивностей випромінювання на двох різних довжинах хвиль. Цей метод дозволяє компенсувати вплив емісивності та деяких атмосферних факторів на результати вимірювань.

Випромінювання від об'єкта розділяється на два спектральні канали за допомогою фільтрів або призми. Кожен канал спрямовується на окремий детектор. Отримані сигнали порівнюються, і на основі співвідношення інтенсивностей обчислюється температура об'єкта.

Особливості та переваги :

- Менша залежність від емісивності: Оскільки співвідношення інтенсивностей на двох довжинах хвиль менш чутливе до змін емісивності, вимірювання стають точнішими.
- Стійкість до атмосферних впливів: Зменшується вплив пилу, диму та інших факторів, оскільки вони однаково впливають на обидва канали.
- Висока точність: Підходять для вимірювань у складних умовах та при високих температурах.

Недоліки та обмеження :

- Складність конструкції: Більш складна оптична та електронна система підвищує вартість та вимоги до обслуговування.
- Обмежений діапазон температур: Менш ефективні при низьких температурах, де випромінювання слабке.

Застосування :

- Металургія високих температур: Вимірювання температури розплавів, ковка, зварювання.

- Скляна та керамічна промисловість: Контроль процесів випалу при високих температурах.
- Аерокосмічна галузь: Тестування матеріалів та компонентів в екстремальних умовах.

2.8. Порівняння пірометрів за спектральним діапазоном

Параметр	Одноколірні пірометри	Двоколірні пірометри
Залежність від емісивності	Висока	Низька
Складність конструкції	Низька	Висока
Вартість	Нижча	Вища
Точність в складних умовах	Менша	Вища
Застосування	Загальні промислові процеси	Високотемпературні та складні умови

Класифікація пірометрів за принципом вимірювання дозволяє обрати оптимальний прилад для конкретних умов та завдань. Одноколірні пірометри є ефективними та економічними для застосувань з відомою емісивністю та стабільними умовами. Двоколірні пірометри забезпечують високу точність в умовах змінної емісивності та наявності завад, що робить їх незамінними в критичних технологічних процесах. Правильний вибір та налаштування пірометра сприяють підвищенню ефективності виробництва та якості продукції.

2.9. Порівняння пірометрів за спектральним діапазоном

Пірометри, як пристрої для безконтактного вимірювання температури, класифікуються не лише за спектральним діапазоном та принципом вимірювання, але й за їх конструктивними особливостями. За конструкцією пірометри поділяються на портативні та стаціонарні. Цей поділ визначає спосіб їх застосування, мобільність, інтеграцію в технологічні процеси та функціональні можливості.



Рис. 7. Розподіл за конструкцією.

2.10. Портативні пірометри

Портативні пірометри — це компактні, переносні прилади, призначені для ручного використання. Вони сконструйовані таким чином, щоб бути зручними для оператора:

- Ергономічний дизайн: Пристрої мають зручну форму корпусу, часто з ручкою, що полегшує тривале використання.
- Дисплей: Оснащені вбудованим екраном (LCD або LED), який відображає результати вимірювань у реальному часі.
- Лазерний приціл: Багато моделей мають лазерний вказівник для точного наведення на об'єкт вимірювання, що особливо корисно при вимірюванні малих або віддалених цілей.

- Живлення від батарей: Портативні пірометри зазвичай працюють від акумуляторів або змінних батарей, що забезпечує автономність і мобільність.

Переваги

- Мобільність: Легко переносити та використовувати в різних місцях без потреби в стаціонарній установці.
- Універсальність: Підходять для різних галузей та застосувань, від промисловості до побутових потреб.
- Простота використання: Інтуїтивно зрозуміле управління та швидке отримання результатів без складних налаштувань.
- Економічність: Відносно низька вартість порівняно зі стаціонарними системами.

Недоліки

- Обмежена функціональність: Не завжди підтримують розширені можливості, такі як тривалий запис даних або передача в реальному часі.
- Залежність від оператора: Результати можуть залежати від правильності застосування та досвіду користувача.
- Обмежений час роботи: Потребують регулярної заміни або зарядки батарей.

Застосування

- Обслуговування та ремонт обладнання: Швидка діагностика перегрівів, виявлення несправностей.
- Контроль якості: Перевірка температури продукції на різних етапах виробництва.

2.11. Стаціонарні пірометри

Стаціонарні пірометри призначені для постійного встановлення на виробничому обладнанні або в ключових точках технологічного процесу. Вони характеризуються:

- Міцна конструкція: Розраховані на тривалу роботу в промислових умовах, можуть мати захист від пилу, вологи, високих температур.
- Інтеграція в системи: Оснащені інтерфейсами для підключення до систем автоматизації та управління (наприклад, 4-20 мА, RS-485, Ethernet[6]).
- Безперервний моніторинг: Забезпечують постійний збір даних про температуру в режимі реального часу.
- Додаткові функції: Можуть мати можливість налаштування параметрів, зберігання історії вимірювань, сигналізації при перевищенні встановлених меж.

Переваги

- Висока надійність та стабільність: Розроблені для безперервної роботи без втручання оператора.
- Точність вимірювань: Мають високу роздільну здатність та точність, що важливо для критичних процесів.
- Автоматизація: Дозволяють автоматизувати контроль температури, зменшити людський фактор та підвищити ефективність виробництва.
- Можливість інтеграції: Легко інтегруються в існуючі системи SCADA, PLC та інші системи управління[7].

Недоліки

- Відсутність мобільності: Фіксоване встановлення обмежує можливість використання в інших місцях.
- Вища вартість: Стаціонарні системи зазвичай дорожчі через складність та додаткові функції.
- Складність монтажу та обслуговування: Вимагають професійного встановлення та періодичного технічного обслуговування.

Застосування

- Металургійна промисловість: Контроль температури в печах, на прокатних станах, при литві металів[8].
- Хімічна та нафтохімічна промисловість: Моніторинг реакторів, колон, трубопроводів.
- Енергетика: Контроль котлів, турбін, генераторів для запобігання аварійним ситуаціям.
- Скляна та керамічна промисловість: Вимірювання температури в печах випалу та плавлення.

2.12. Порівняння портативних та стаціонарних пірометрів

Параметр	Портативні пірометри	Стаціонарні пірометри
Спосіб використання	Висока	Низька
Вартість	Ручне, за потреби	Постійний моніторинг

Вартість	Нижча	Висока, незалежна від людського фактору
Точність та стабільність	Залежить від оператора	Широкі можливості інтеграції
Інтеграція в системи	Обмежена	Потребує професійного технічного обслуговування

Класифікація пірометрів за конструкцією дозволяє обрати прилад, що найкраще відповідає специфічним вимогам процесу або завдання. **Портативні пірометри** є незамінними для оперативних вимірювань, діагностики та обслуговування, забезпечуючи гнучкість та зручність. **Стаціонарні пірометри** забезпечують високоточний та безперервний контроль температури, інтегруючись в системи автоматизації та підвищуючи ефективність виробництва. Правильний вибір та використання пірометрів сприяє підвищенню якості продукції, безпеки та оптимізації технологічних процесів.

2.13. Рівні передачі даних

Передача даних у будь-якій системі моніторингу, зокрема дистанційного моніторингу температури, базується на чіткій взаємодії кількох рівнів, кожен із яких виконує специфічні функції. Ця структура дозволяє забезпечити надійність, ефективність та гнучкість комунікації між пристроями.



Рис. 8. Рівні передачі даних

Фізичний рівень передачі даних визначає засоби, через які інформація передається між пристроями. Він охоплює кабельні та бездротові методи комунікації, включно з використанням RS485, USB, Ethernet або сучасних технологій на кшталт Wi-Fi та Bluetooth. Основна задача цього рівня полягає в забезпеченні стабільного фізичного зв'язку між передавачем і приймачем. Наприклад, кабельні інтерфейси забезпечують високу надійність передачі, але можуть обмежувати мобільність системи. Натомість бездротові технології дозволяють працювати в умовах, де неможливо або недоцільно використовувати кабелі, хоча вони можуть бути вразливішими до перешкод.

Ключовими характеристиками фізичного рівня є швидкість передачі даних, яка вимірюється в бітах за секунду, і надійність з'єднання. Ці характеристики залежать від якості середовища передачі. Кабельні системи менш схильні до зовнішніх перешкод, тоді як бездротові рішення можуть мати нестабільність через фізичні бар'єри або електромагнітні хвилі.

З практичної точки зору, вибір фізичного рівня залежить від умов використання системи, таких як віддаленість пристроїв, доступність мережі живлення і вимоги до швидкості передачі. У багатьох випадках оптимальним є комбінування різних типів фізичних середовищ для досягнення балансу між мобільністю та стабільністю з'єднання.

Канальний рівень передачі даних відповідає за організацію і контроль обміну інформацією між двома безпосередньо пов'язаними пристроями. Його головна мета полягає у забезпеченні коректної та надійної передачі даних через фізичне середовище, яке може бути нестабільним або схильним до перешкод. На цьому рівні здійснюється розбиття інформації на кадри, які включають не лише самі дані, але й службову інформацію для перевірки їхньої цілісності.

Для забезпечення надійності канальний рівень використовує механізми виявлення та корекції помилок. Наприклад, при передачі кожного кадру може

додаватися контрольна сума або CRC-код, що дозволяє приймачу перевірити, чи не спотворилися дані під час передачі. У разі виявлення помилки приймач може запросити повторну передачу кадру, тим самим знижуючи ризик втрати чи викривлення інформації.

Канальний рівень також відповідає за управління доступом до середовища передачі. У випадках, коли до одного середовища підключено кілька пристроїв, цей рівень визначає, хто саме і коли має право передавати дані, щоб уникнути конфліктів.

Практичне застосування канального рівня у системах моніторингу температури може включати використання протоколу Modbus RTU або подібних технологій, які забезпечують послідовну передачу даних у форматі кадрів. Це дозволяє системі працювати стабільно навіть у складних умовах, таких як сильні електромагнітні перешкоди або велика кількість одночасно активних пристроїв.

Мережевий рівень передачі даних відповідає за маршрутизацію інформації між пристроями в різних мережах. Його основна функція полягає у визначенні оптимального шляху для доставки даних від джерела до призначення, навіть якщо вони знаходяться у віддалених або складно пов'язаних мережах. Це досягається завдяки адресації пристроїв, яка дозволяє ідентифікувати кожного учасника мережі.

Ключовим елементом роботи мережевого рівня є IP-адресація. Кожен пристрій отримує унікальну IP-адресу, яка використовується для визначення його місця в мережі. Разом із цим мережевий рівень використовує протоколи маршрутизації, такі як RIP, OSPF або BGP, для вибору найкращого шляху передачі даних залежно від поточної завантаженості мережі, її конфігурації або наявності проблемних ділянок.

Для систем дистанційного моніторингу температури мережевий рівень є особливо важливим у разі, коли пірометр та сервер обробки даних знаходяться в

різних мережах, наприклад, якщо дані передаються через Інтернет. У такому випадку протокол TCP/IP забезпечує надійну доставку інформації, автоматично розділяючи її на пакети та збираючи їх у потрібній послідовності на стороні отримувача.

Мережевий рівень також забезпечує масштабованість системи. Завдяки використанню маршрутизаторів і комутаторів можна легко додавати нові пірометри або сервери без суттєвих змін в архітектурі. Таким чином, цей рівень виступає як основа для побудови розподілених систем моніторингу, де температура може вимірюватися в численних точках і передаватися на централізований сервер для аналізу.

Прикладний рівень передачі даних відповідає за безпосередню взаємодію з користувачем або програмами, забезпечуючи обробку і передачу даних у зрозумілому форматі. На цьому рівні реалізуються протоколи та сервіси, які забезпечують зручний доступ до функціоналу системи, зокрема до даних, отриманих із пірометра. Цей рівень є найближчим до користувача і виконує функцію інтерфейсу між технічними аспектами передачі даних і прикладними програмами.

У системах моніторингу температури прикладний рівень реалізує такі протоколи, як HTTP/HTTPS для взаємодії через веб-браузери, MQTT для передачі даних у системах IoT або FTP для завантаження файлів із вимірюваннями. Наприклад, протокол MQTT забезпечує обмін даними між пірометром і сервером у режимі "публікатор-підписник", що дозволяє оперативно реагувати на зміни температури в реальному часі. HTTP/HTTPS, у свою чергу, використовується для надання доступу до веб-інтерфейсу, де користувач може переглядати графіки температури, налаштовувати порогові значення або завантажувати звіти.

На прикладному рівні також відбувається обробка і форматування даних для відображення. Наприклад, дані, отримані в сирому вигляді, конвертуються у зручний формат, такий як таблиці, графіки чи інтерактивні діаграми. Крім того, прикладний рівень відповідає за сповіщення користувачів у разі виходу температури за межі допустимих значень, використовуючи SMS, e-mail або push-сповіщення.

Цей рівень є критично важливим для інтеграції системи моніторингу з іншими додатками, такими як аналітичні платформи, ERP або SCADA системи. Він дозволяє адаптувати систему під конкретні потреби користувачів, надаючи їм не лише доступ до даних, але й можливість керувати параметрами системи у зрозумілому та ефективному вигляді.

2.14. Типи передачі даних

Типи передачі даних у системах моніторингу визначають спосіб, у який інформація передається між пристроями, і залежать від потреб у швидкості, точності та стабільності зв'язку. У загальному розумінні розрізняють два основних підходи до організації передачі: режим реального часу з постійною синхронізацією між пристроями та більш гнучкий підхід із передачею даних у міру їхньої готовності. Обидва ці методи мають свої переваги і використовуються залежно від специфіки задачі.

Перший підхід забезпечує швидкий обмін інформацією, що є важливим у критичних системах, де затримка передачі може призвести до значних наслідків. Другий підхід є більш оптимальним у системах, де оперативність не є ключовим параметром, а основний акцент робиться на енергоефективності та простоті взаємодії між пристроями.

Розуміння та правильне застосування цих типів передачі дозволяє будувати ефективні системи моніторингу, які відповідають конкретним вимогам та умовам експлуатації.

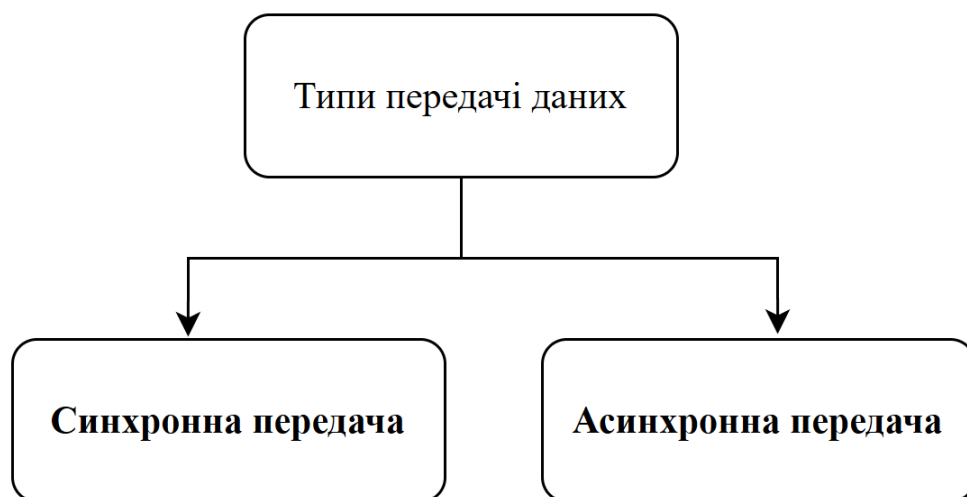


Рис. 9. Типи передачі даних

Синхронна передача даних базується на постійному узгодженні часу між передавачем і приймачем, що забезпечує стабільний потік інформації. У такому режимі пристрої працюють у єдиному часовому контексті, використовуючи сигнали синхронізації для підтримки постійного ритму передачі. Завдяки цьому дані надходять із мінімальними затримками, що робить цей підхід ідеальним для систем реального часу.

Під час передачі кожен блок інформації передається відповідно до фіксованого інтервалу, що дозволяє уникнути плутанини та забезпечити точне розташування даних у потоці. Синхронний режим гарантує високу швидкість і точність, але потребує більш складної апаратної підтримки, оскільки обидва пристрої повинні постійно підтримувати зв'язок і синхронізувати свої дії.

Сфера застосування синхронної передачі охоплює системи, де затримка у передачі даних може призвести до значних ризиків. Наприклад, у системах моніторингу температури в реальному часі цей метод дозволяє негайно реагувати на будь-які зміни показників, забезпечуючи ефективність і надійність роботи всієї системи.

Асинхронна передача даних базується на принципі незалежності передавача і приймача в часі. У цьому режимі пристрої не потребують постійної синхронізації, оскільки кожен блок даних передається з використанням спеціальних сигнальних бітів, які вказують початок і кінець переданого пакета. Це дозволяє приймачу точно визначати момент початку та завершення прийому інформації без необхідності постійного обміну сигналами синхронізації.

Такий підхід є гнучким і простим у реалізації, оскільки передача даних здійснюється лише тоді, коли це необхідно. Асинхронний режим є менш чутливим до тимчасових відхилень, але може бути менш ефективним, якщо обсяги інформації значні, адже для кожного пакета додається службова інформація. Водночас цей метод забезпечує економію ресурсів, зокрема енергії, оскільки пристрої можуть перебувати у стані очікування до моменту передачі.

Асинхронна передача даних зазвичай використовується в системах, де не потрібна постійна швидкість і потужність передачі. Наприклад, у системах моніторингу температури, де дані передаються періодично або лише у разі суттєвих змін показників, цей метод дозволяє знизити навантаження на комунікаційну мережу, забезпечуючи при цьому достатню надійність і точність передачі.

2.15. Протоколи передачі даних

Протоколи передачі даних є основою для забезпечення взаємодії між пристроями в будь-якій системі моніторингу, зокрема в системах дистанційного моніторингу температури. Вони визначають правила, за якими відбувається обмін інформацією, забезпечують її правильне кодування, передачу, отримання та перевірку. Протоколи гарантують, що навіть у складних мережевих умовах дані будуть передані надійно та коректно.

Ефективність і надійність системи передачі багато в чому залежить від вибору відповідного протоколу, оскільки різні протоколи оптимізовані для різних задач. Наприклад, деякі з них забезпечують високу швидкість передачі, інші – низьке енергоспоживання або мінімальні затримки. Завдяки цьому протоколи адаптуються під потреби конкретних систем, враховуючи їхні технічні особливості та вимоги до роботи.

Правильно підібраний протокол є ключовим елементом побудови стабільної та масштабованої системи, яка може ефективно взаємодіяти з великою кількістю пристроїв, обробляти великі обсяги даних і забезпечувати безперебійну передачу інформації навіть у складних умовах.



Рис. 10. Протоколи передачі даних

HTTP, або Hypertext Transfer Protocol, — це спосіб, за допомогою якого ваш пристрій (наприклад, комп'ютер чи смартфон) може запитувати дані з сервера і отримувати їх у відповідь. Уявіть, що ви вводите адресу сайту в

браузері. У цей момент ваш пристрій надсилає запит через HTTP до сервера, де зберігається цей сайт. Сервер, отримавши запит, надсилає у відповідь потрібні дані, наприклад текст, зображення або відео, і браузер показує їх вам.

HTTPS — це той самий HTTP, але з додатковим рівнем безпеки. У HTTPS дані шифруються перед тим, як вони покидають ваш пристрій, і розшифровуються лише тоді, коли доходять до сервера (і навпаки). Це означає, що ніхто не може підглянути, які саме дані ви надсилаєте або отримуєте. Така безпека важлива, наприклад, коли ви вводите паролі, платіжну інформацію або будь-які особисті дані.

HTTP легко працює без додаткових налаштувань, але він не захищений. Якщо хтось перехопить ваші дані під час їх передачі, він зможе їх побачити чи змінити. HTTPS вирішує цю проблему, додаючи захист через спеціальне шифрування. Щоб користуватися HTTPS, серверу потрібен спеціальний сертифікат, який підтверджує його безпечність.

Простіше кажучи, HTTP — це як листівка, яку може прочитати будь-хто, хто побачить її. HTTPS — це як запечатаний конверт, доступ до якого мають лише відправник і отримувач. Через це HTTPS став стандартом для більшості сучасних веб-сайтів, особливо тих, які працюють із приватними чи важливими даними.

Modbus — це простий і надійний протокол обміну даними, який часто використовується для зв'язку між різними пристроями, такими як датчики, контролери чи комп'ютери. Уявіть, що у вас є кілька пристроїв, які повинні обмінюватися інформацією, наприклад, один пристрій вимірює температуру, а інший зберігає ці дані. Modbus допомагає їм "розмовляти" один з одним, використовуючи стандартизовані правила.

Modbus працює за принципом "майстер-слуга" (master-slave). Це означає, що один пристрій, який називається майстром (наприклад, комп'ютер або

контролер), запитує дані у інших пристроїв, які є слугами (наприклад, датчики). Слуги тільки відповідають на запити майстра, самі вони не ініціюють передачу даних. Майстер може попросити дані, надіслати команди або змінити налаштування слуг.

Дані в Modbus передаються у вигляді простих чисел, таких як значення температури, напруги або інші параметри. Завдяки своїй простоті протокол дуже швидко працює і легко налаштовується. Він підтримує різні способи підключення, наприклад, через дротові інтерфейси, такі як RS485, або через мережу Ethernet.

Modbus не забезпечує захисту даних, тому його зазвичай використовують у локальних мережах або додають додаткові засоби безпеки, якщо це необхідно. Простота і широке використання зробили Modbus стандартом у промислових і технічних системах, де потрібна стабільна та зрозуміла передача даних між пристроями. Простіше кажучи, Modbus — це "спільна мова", яка дозволяє різним пристроям ефективно обмінюватися інформацією.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) — це легкий і простий протокол передачі даних, розроблений спеціально для ситуацій, де важливо передавати інформацію швидко, з мінімальними витратами енергії та ресурсів. Уявіть його як посередника, який передає повідомлення між пристроями, що знаходяться в різних місцях.

Протокол працює за принципом "публікатор-підписник". Є пристрої, які публікують дані (наприклад, датчик температури передає свої показники), і є ті, хто на ці дані підписується (наприклад, програма, яка відображає ці показники). Між ними знаходиться сервер, який називається брокером. Він приймає повідомлення від публікаторів і розсилає їх усім підписникам, яким ця інформація потрібна.

MQTT використовує теми для організації даних. Наприклад, датчик може публікувати інформацію в тему "температура/кухня", а інший пристрій може підписатися саме на цю тему, щоб отримувати лише відповідні дані. Завдяки цьому система стає дуже гнучкою: можна легко додавати нові пристрої, змінювати підписки або структуру даних.

Протокол ідеально підходить для ситуацій, коли пристрої працюють у мережах із низькою пропускнуою здатністю або нестабільним зв'язком. Наприклад, датчики в польових умовах або пристрої IoT, які відправляють дані через мобільну мережу, часто використовують MQTT.

MQTT забезпечує базовий рівень надійності і дозволяє вибирати, наскільки важливо, щоб повідомлення точно дійшло до отримувача. Це робить його ефективним у ситуаціях, де необхідна проста, швидка і стабільна передача даних між великою кількістю пристроїв. Уявіть MQTT як поштову службу: ви відправляєте листи до центрального відділення (брокера), а воно доставляє їх тим, хто хоче їх отримати.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) — це протокол передачі даних, створений для пристроїв, які працюють на великій відстані та мають обмежене енергоспоживання. Його основна мета — забезпечити передачу невеликих обсягів даних між пристроями, розташованими у віддалених місцях, і центральними серверами.

LoRaWAN працює у бездротовій мережі, яка використовує технологію LoRa для передачі даних на відстані до кількох кілометрів. Особливістю протоколу є його низьке енергоспоживання, що дозволяє пристроям, наприклад датчикам, працювати на батареї кілька років без заміни. Ця технологія ідеально підходить для пристроїв IoT, які передають дані час від часу і не вимагають постійного з'єднання.

Передача даних у LoRaWAN організована через шлюзи, які приймають сигнали від пристроїв і пересилають їх на сервер через Інтернет. Ці сервери обробляють інформацію та передають її далі — на аналітичні системи чи програми користувача. Завдяки такій архітектурі можна організовувати великі мережі, які охоплюють сотні чи тисячі пристроїв.

Для захисту інформації LoRaWAN використовує двошарове шифрування: дані шифруються на рівні пристрою та додатково на рівні мережі. Це забезпечує високий рівень безпеки навіть у разі використання мережі в публічних місцях.

Протокол ідеально підходить для таких задач, як моніторинг сільськогосподарських полів, відстеження стану обладнання в промисловості чи контроль екологічних параметрів. Уявіть, що датчик, розташований у полі, надсилає показники вологості ґрунту, які через LoRaWAN передаються на сервер, дозволяючи фермерам віддалено відстежувати стан своїх посівів. LoRaWAN забезпечує ефективну передачу даних навіть у складних умовах, де інші технології можуть бути недоступними.

2.16. Параметри передачі даних

Передача даних у будь-якій системі залежить від ряду параметрів, які визначають її швидкість, надійність і ефективність. Ці параметри враховуються під час розробки системи, щоб забезпечити стабільну роботу, навіть у складних умовах. Вибір технологій і налаштувань залежить від потреб конкретного застосування, таких як швидкість передачі, обсяг даних, відстань між пристроями та стабільність мережі. Розуміння цих параметрів дозволяє оптимізувати систему передачі даних, забезпечуючи її відповідність технічним і економічним вимогам.



Рис. 11. Параметри передачі даних

Швидкість передачі даних визначає, скільки інформації може бути передано через мережу за певний проміжок часу. Вона вимірюється в бітах за секунду (bps) і є одним із ключових параметрів, що впливають на продуктивність системи. Висока швидкість передачі дозволяє швидше отримувати дані, що є важливим для систем реального часу, де затримка може впливати на загальну ефективність.

Проте швидкість залежить від кількох факторів, таких як якість з'єднання, тип протоколу передачі та можливості обладнання. Наприклад, дротові з'єднання, як правило, забезпечують вищу швидкість порівняно з бездротовими, але можуть бути обмежені фізичною інфраструктурою. У бездротових мережах на швидкість можуть впливати перешкоди, віддаленість пристроїв і кількість активних з'єднань.

Залежно від потреб системи, можна налаштовувати оптимальну швидкість передачі. Якщо передаються невеликі обсяги даних, наприклад, від датчиків, достатньо низької швидкості. Натомість для передачі великих обсягів інформації, як-от відео чи великих файлів, потрібна висока швидкість. Це робить швидкість передачі критичним параметром, який впливає на вибір технології передачі та загальну архітектуру системи.

Затримка, або latency, є ключовим параметром, який визначає час, необхідний для передачі даних від джерела до місця призначення. Вона вимірюється в мілісекундах і відображає, наскільки швидко система реагує на

запит або зміну умов. Низька затримка є критично важливою в додатках, де необхідна швидка реакція, наприклад, у реальних часах або в системах автоматизації.

На затримку впливає кілька факторів, включаючи фізичну відстань між пристроями, пропускну здатність мережі, швидкість обробки даних на вузлах і тип протоколу, що використовується для передачі. Наприклад, у локальних мережах затримка зазвичай мінімальна, оскільки дані передаються через прямі й короткі маршрути. У глобальних мережах, таких як Інтернет, затримка може бути більшою через необхідність маршрутизації даних через кілька проміжних вузлів.

Висока затримка може призводити до помітних збоїв у системах, які потребують швидкого обміну даними, тоді як у менш критичних додатках вона може бути прийнятною. Розуміння цього параметра дозволяє адаптувати системи передачі до специфічних умов і вибрати відповідні технології для оптимальної роботи.

Пропускна здатність, або bandwidth, визначає максимальну кількість даних, які можуть бути передані через мережу за одиницю часу. Вона вимірюється в бітах за секунду (bps) і є важливим параметром, який впливає на загальну продуктивність системи передачі даних. Цей показник відображає потенційну "ширину каналу", через який передається інформація, і визначає, скільки даних мережа здатна обробити одночасно.

Пропускна здатність залежить від типу мережі, використовуваного обладнання та середовища передачі. У дротових мережах, таких як Ethernet, вона зазвичай вища, оскільки фізичні кабелі забезпечують стабільність і менше піддаються перешкодам. У бездротових мережах, наприклад Wi-Fi, пропускна здатність може змінюватися залежно від відстані між пристроями, кількості активних підключень і наявності перешкод у середовищі.

Цей параметр є особливо важливим у додатках, які потребують передачі великих обсягів даних, таких як потокове відео, онлайн-ігри або завантаження файлів. Якщо пропускна здатність мережі недостатня, це може призводити до затримок, втрати даних або зниження якості передачі. Тому врахування пропускної здатності допомагає оптимізувати роботу системи, забезпечуючи баланс між швидкістю передачі, надійністю та вимогами до мережевого середовища.

Надійність передачі даних є ключовим параметром, який визначає, наскільки стабільно і точно інформація доставляється від відправника до отримувача. Цей показник відображає здатність системи працювати без збоїв і втрати даних навіть у складних умовах, таких як перешкоди, перевантаження мережі або відмови обладнання. Надійність є особливо важливою в критичних системах, де помилки у передачі можуть призводити до серйозних наслідків.

Для забезпечення надійності використовуються різні механізми, зокрема, перевірка цілісності даних, дублювання інформації або повторна передача у разі виникнення помилок. Наприклад, додавання контрольної суми (CRC) дозволяє виявляти пошкоджені пакети, а протоколи, такі як TCP, автоматично запитують повторну передачу в разі їхньої втрати. Надійність також залежить від якості мережевого обладнання, типу середовища передачі та рівня захисту від зовнішніх впливів.

Системи з високою надійністю здатні мінімізувати вплив збоїв і забезпечувати стабільну роботу навіть у випадках нестабільного з'єднання або високого навантаження. У менш критичних застосуваннях, де допустима деяка втрата даних, можна використовувати більш прості та швидкі методи передачі, жертвуючи частиною надійності заради підвищення ефективності. Загалом, вибір підходу до забезпечення надійності залежить від потреб конкретної системи та умо

Висновок до розділу :

Дослідження теорії пірометрії показало, що пірометри є незамінними інструментами для безконтактного вимірювання температури в різних галузях промисловості. Класифікація пірометрів за спектральним діапазоном, принципом вимірювання та конструкцією дозволяє обрати оптимальний прилад для конкретних завдань. Інфрачервоні та ультрафіолетові пірометри покривають широкий діапазон температур, що робить їх універсальними для різних застосувань. Одноколірні та двоколірні пірометри надають можливість вибору між простотою та точністю вимірювань, а портативні та стаціонарні конструкції забезпечують гнучкість у використанні та інтеграцію в технологічні процеси.

Проведений теоретичний аналіз підтверджує актуальність та перспективність розробки системи дистанційного моніторингу температури на основі пірометрів з автоматичною передачею даних. Отримані знання стануть фундаментом для практичної реалізації проекту, що буде розглянуто в наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ.

3.1. Структурна схема

Система працює за таким принципом: інфрачервоне випромінювання від об'єкта спрямовується оптичною системою до приймача випромінювання. Приймач конвертує це випромінювання в електричний сигнал, який передається на мікроконтролер. Мікроконтролер обробляє отриманий сигнал, визначає температуру та передає ці дані на модуль Wi-Fi. Модуль Wi-Fi передає інформацію на сервер, де дані зберігаються, аналізуються та візуалізуються. Користувач отримує доступ до результатів через сервер, використовуючи веб-інтерфейс або мобільний додаток, що дозволяє йому спостерігати за температурою в реальному часі або отримувати сповіщення у разі відхилення показників від норми.

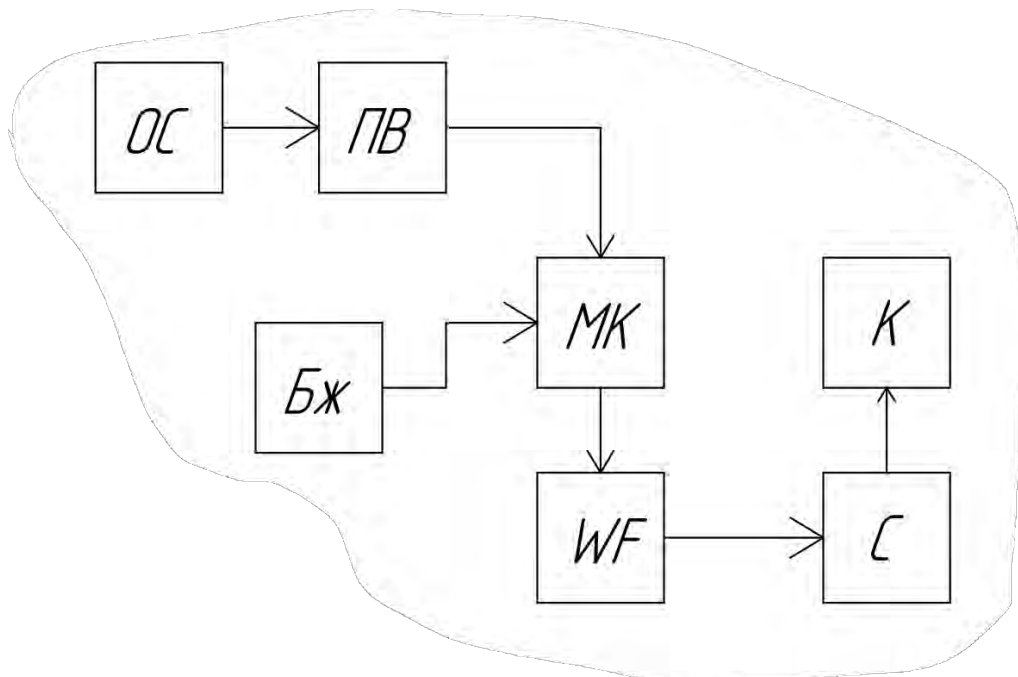


Рис. 12. Структурна схема

ОС (Оптична система)

Це компонент, який відповідає за фокусування і спрямування інфрачервоного випромінювання від об'єкта до приймача. Оптична система забезпечує точність вимірювання, зосереджуючи потік енергії на датчику.

ПВ (Приймач випромінювання)

Приймач випромінювання (наприклад, пірометр MLX90614) перетворює отримане інфрачервоне випромінювання на електричний сигнал, який пропорційний температурі об'єкта. Це ключовий елемент, що забезпечує безконтактне вимірювання температури.

БЖ (Блок живлення)

Блок живлення забезпечує всі компоненти системи стабільним електричним струмом. Він може бути реалізований на базі акумуляторів або живлення від мережі.

МК (Мікроконтролер)

Мікроконтролер (STM32F103CBT6) виконує обробку сигналів, що надходять із приймача випромінювання, конвертує їх у температурні дані та передає модулю Wi-Fi для подальшої обробки. МК також управляє усією логікою системи та взаємодією між її компонентами.

WF (Модуль Wi-Fi)

Модуль Wi-Fi (ESP-01) відповідає за передачу оброблених даних із мікроконтролера на сервер через бездротову мережу. Він забезпечує з'єднання із хмарною платформою (ThingSpeak) для збереження та візуалізації даних у реальному часі.

С (Сервер)

Сервер (ThingSpeak) приймає дані з модуля Wi-Fi, зберігає їх у базі даних і забезпечує інструменти для аналізу, візуалізації та відображення інформації. Сервер виконує роль сховища й обробника даних, доступ до яких можуть отримати користувачі.

К (Користувач)

Користувач отримує доступ до даних через інтерфейс, наприклад, веб-додаток або мобільний додаток. Він може переглядати виміряні температури у вигляді графіків або отримувати сповіщення, якщо температура перевищує задані межі.

3.2. Обґрунтування вибору інфрач. дитчика

Інфрачервоний датчик повинен забезпечувати надійне і точне вимірювання температури, враховуючи широкий діапазон від -50°C до $+250^{\circ}\text{C}$, що є оптимальним для більшості побутових, виробничих і дослідницьких застосувань. Точність вимірювань повинна становити близько $\pm 2\%$ для отримання достовірних результатів. Важливим критерієм є доступність датчика на ринку, стабільність його постачання і адекватна ціна, що робить його зручним для інтеграції. Швидкість реакції близько 100 мс дозволяє застосовувати його навіть у швидких технологічних процесах. Корисними є додаткові функції, які можуть підвищити ефективність роботи сенсора в конкретних умовах.



Рис. 13. MLX90614

MLX90614 є ідеальним вибором для нашого проєкту через його унікальні властивості та технічні переваги, які відповідають нашим потребам. Це інфрачервоний термометр із цифровим виходом, який дозволяє безконтактно вимірювати температуру об'єктів. Його висока точність, широкі діапазони вимірювання та можливість працювати в різних умовах роблять його універсальним для різних застосувань. Завдяки інтегрованим можливостям датчик може бути використаний для моніторингу температури як у дослідницьких проєктах, так і в побутових або промислових умовах.

Точність датчика MLX90614 є одним із головних аргументів на його користь. Залежність точності від температури об'єкта (T_o) та корпусу датчика (T_a), як показано на малюнку 12, демонструє, що датчик зберігає високу стабільність і точність навіть при зміні зовнішніх умов. Це дозволяє використовувати його в ситуаціях, коли температура середовища може значно коливатися. На основі графіка видно, що навіть при екстремальних змінах температури корпусу датчика точність вимірювання залишається в межах, які відповідають вимогам сучасних систем моніторингу. Це важливий фактор для забезпечення достовірності отриманих даних.

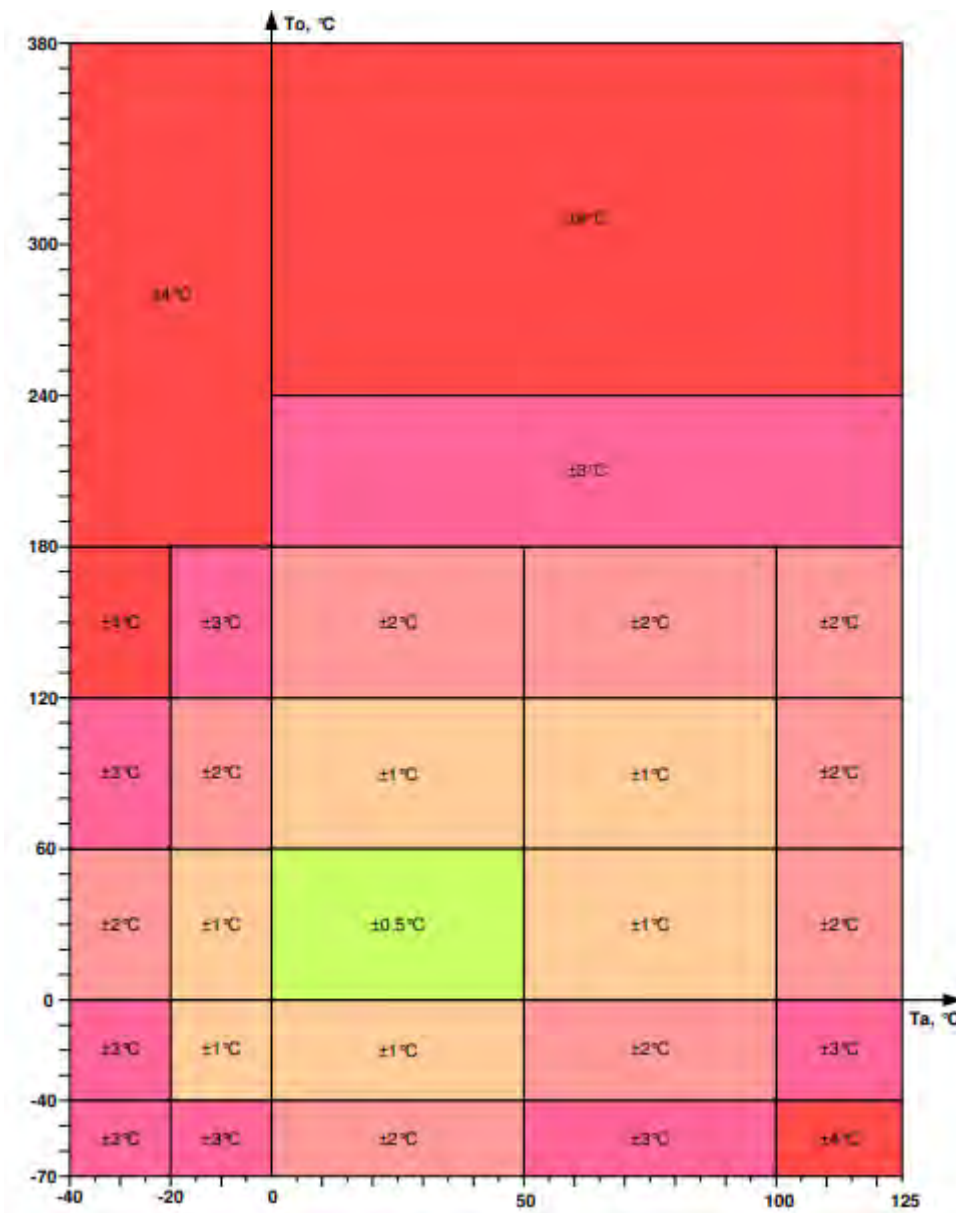


Рис. 14. Відносність точності вимірювання в координатах T_o °C. (теплову енергію ОК) та T_a °C. (тепература самого корпусу датчику)

Ще одним важливим аспектом є розподіл точності при вимірюванні температури людського тіла, як показано на рисунку 13. У цій області датчик демонструє мінімальну похибку, що є критично важливим для медичних і побутових застосувань. Наприклад, при вимірюванні температури пацієнтів точність має першочергове значення, оскільки навіть незначні відхилення можуть вплинути на діагностику та подальше лікування. Розподіл точності датчика в рамках температури людського тіла вказує на його здатність

забезпечувати стабільні результати без значних похибок, що є перевагою у порівнянні з іншими датчиками.

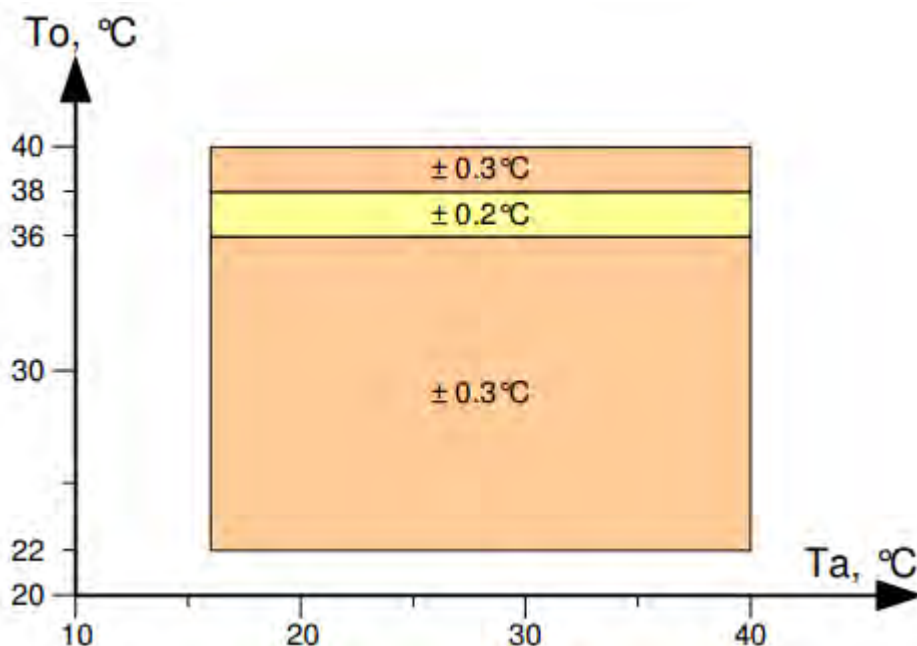


Рис. 15. Точний розподіл похибки в рамках температури людського тіла

Додатково MLX90614 має широкий діапазон вимірювання температури — від -70°C до $+380^{\circ}\text{C}$, що дозволяє використовувати його як у низькотемпературних, так і у високотемпературних середовищах. Висока швидкість реакції забезпечує оперативність збору даних, що важливо для моніторингу динамічних процесів. Цифровий вихід дозволяє легко інтегрувати його в комп'ютеризовані системи, що спрощує обробку отриманої інформації.

Крім того, датчик компактний, енергоефективний і доступний на ринку. Це робить його оптимальним вибором як з технічної, так і з економічної точки зору. Завдяки стабільному виробництву і широкому розповсюдженню MLX90614 забезпечує не тільки якість, але й можливість масштабування системи без труднощів із постачанням.

Отже, MLX90614 — це не просто інфрачервоний датчик, а надійне рішення для створення систем моніторингу температури, яке гарантує точність, зручність використання та відповідність сучасним вимогам.

3.3. Розрахунок показника візування

Показник візування

Під час роботи з безконтактними інфрачервоними пірометрами виникає поняття «Відношення відстані до плями». Це співвідношення, яке позначає залежність між відстанню від датчика до об'єкта і розміром зони, що вимірюється. Наприклад, якщо відношення D:S становить 12:1, це означає, що об'єкт із діаметром 1 см може бути точно виміряний на відстані 12 см від датчика. На рисунку 16 зображено приклад, який ілюструє цей показник.

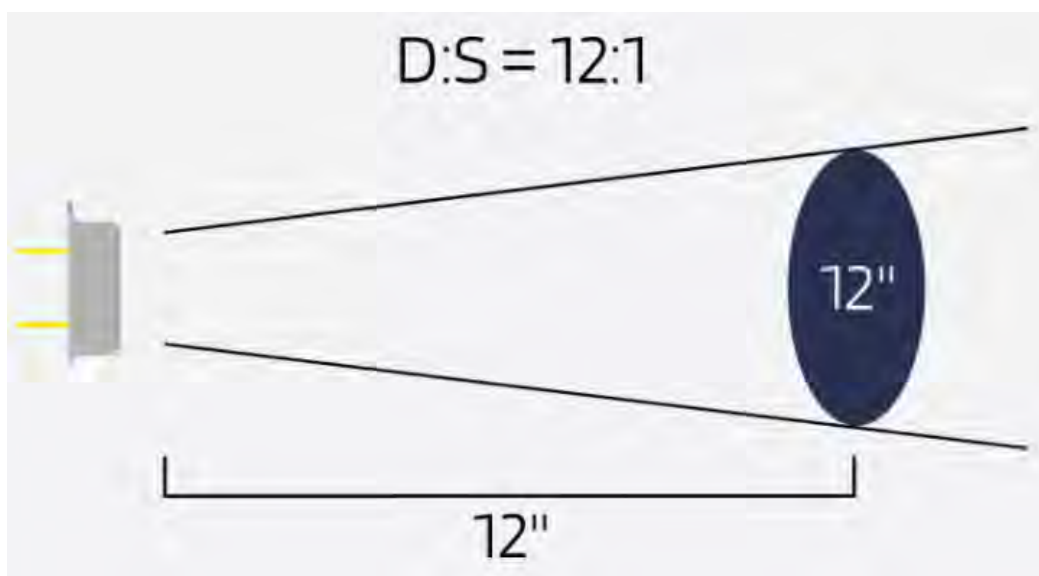


Рис. 16. Приклад показника візування в 12:1

Співвідношення D:S показує, як далеко датчик може знаходитися від об'єкта, щоб вимірювання залишалися точними. Якщо це співвідношення низьке, датчик потрібно тримати близько до об'єкта, щоб отримати точні дані. Наприклад, якщо об'єкт маленький і датчик далеко, він може "бачити" не тільки цей об'єкт, а й частину навколишнього середовища, що зробить вимірювання неточними.

Коли об'єкт дуже гарячий, краще використовувати датчик із високим D:S, щоб мати можливість вимірювати температуру з безпечної відстані. Якщо об'єкт розташований занадто далеко від датчика і не заповнює його поле зору, датчик починає враховувати інфрачервоне випромінювання не тільки від об'єкта, але й від навколишніх поверхонь. У результаті він показує середню температуру, яка буде нижчою за реальну температуру об'єкта. Тому для точних вимірювань важливо, щоб розмір об'єкта відповідав можливостям датчика на заданій відстані.

Розрахунок параметра візування для обраного ІЧ датчика

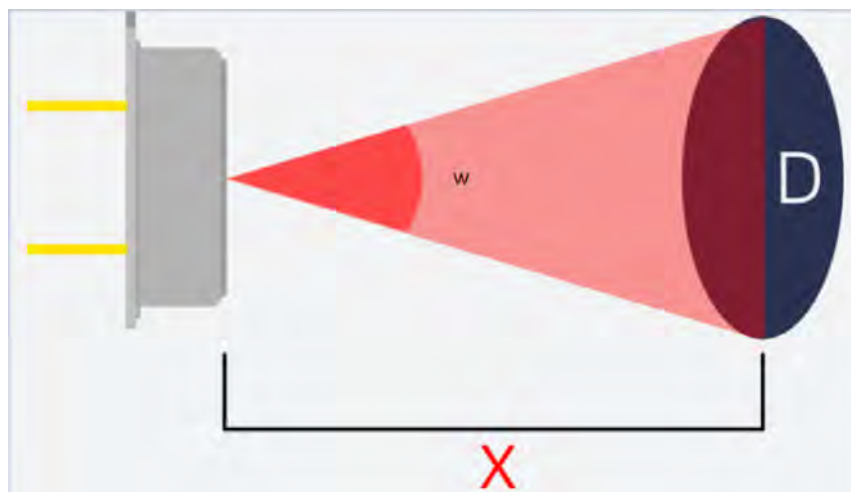


Рис. 17. Розрахунок показника візування

На рисунку 17 показано, як правильно розташувати об'єкт для точного вимірювання температури за допомогою сенсора. Позначка X вказує максимальну відстань, на якій об'єкт може знаходитися від сенсора, щоб вимірювання залишалися точними і відображали температуру самого об'єкта.

Поле зору сенсора, позначене як ω , — це зона, в якій датчик "бачить" інфрачервоне випромінювання. Розмір об'єкта, позначений D, повинен бути достатнім, щоб повністю заповнити це поле зору на відстані X. Якщо об'єкт буде меншим або розташованим далі за X, датчик почне враховувати випромінювання

з навколишнього середовища, і показники температури можуть стати неточними. Тому важливо, щоб об'єкт був у межах зони, яку сенсор може чітко "вловити".

Якщо розрізати трикутник рівно навпіл по висоті, то в результаті отримуємо два прямокутних трикутники. Це означає, що один із кутів у кожному з цих нових трикутників буде прямим, тобто дорівнюватиме 90° . Інші два кути і сторони збережуть пропорції, але будуть меншими, ніж у початкового трикутника. Це зручно для розрахунків і побудови, бо прямокутний трикутник має прості співвідношення між сторонами і кутами.

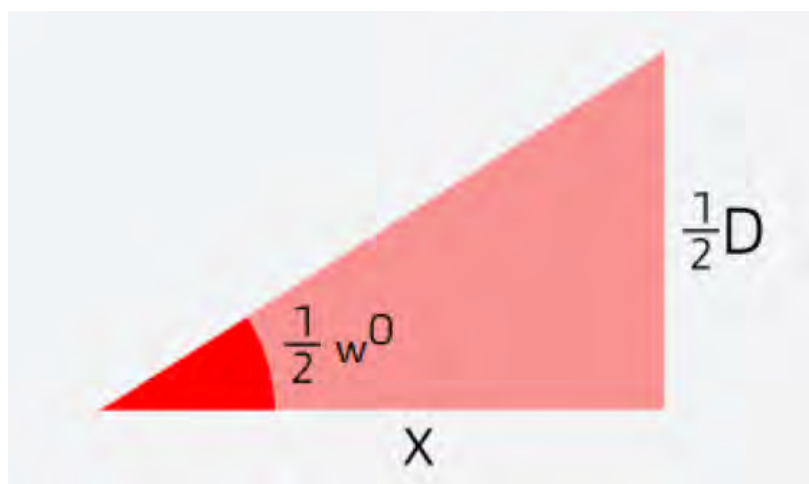


Рис. 18. Розрахунок відстані X

Використовую формулу тангенса кута нахилу, для того, щоб - отримати відстань "X".

$$\operatorname{tg}\left(\frac{1}{2}w^0\right) = \frac{\frac{1}{2}D}{X} \quad (3.1)$$

За формулою 2.1. отримуємо :

$$X = \frac{\frac{1}{2}D}{\operatorname{tg}\left(\frac{1}{2}w^0\right)} \quad (3.2)$$

Використавши математичні операції над формулу 2.2. отримуємо :

$$X = \frac{D}{2\operatorname{tg}(w^0)} \quad (3.3)$$

Щоб визначити співвідношення відстані до плями (D:S) для датчика MLX90614, нам потрібно знати його поле зору, тобто кут, під яким він "бачить" об'єкти. У цього датчика кут огляду становить 90 градусів.

Якщо ми беремо об'єкт із діаметром 1 см, то можемо використати формулу, яка враховує цей кут і розмір об'єкта. Формула дозволяє розрахувати, на якій відстані від датчика цей об'єкт повністю заповнює його поле зору. Це дає нам співвідношення D:S, яке показує, як далеко можна розмістити об'єкт для точного вимірювання температури. Чим ширший кут огляду і менший об'єкт, тим ближче до датчика він повинен знаходитися.

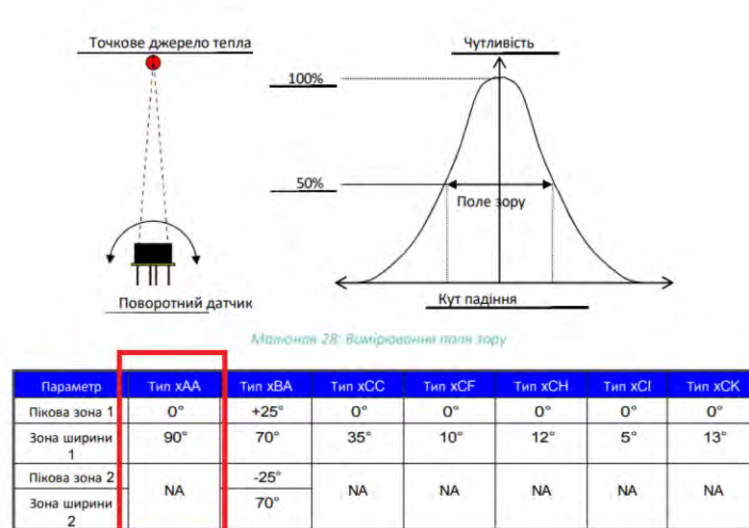


Рис. 19. Поле зору сенсору MLX90614 дорівнює 90°

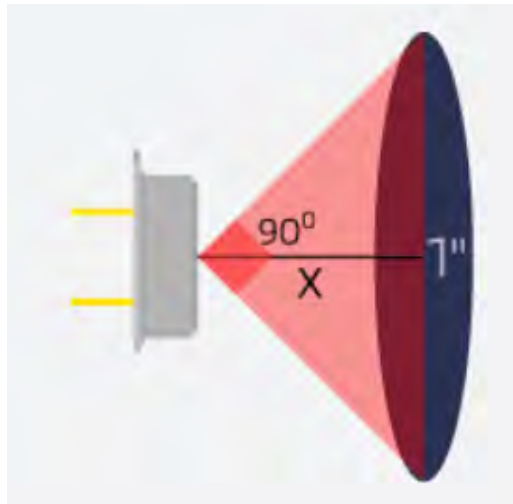


Рис. 20. Підставляємо значення

Оскільки у нас є всі необхідні значення для розрахунку X , можна застосувати формули, які були наведені раніше. Ми знаємо, що кут огляду датчика MLX90614 становить 90 градусів, а об'єкт має діаметр 1 см. Формула дозволяє визначити максимальну відстань X , на якій об'єкт із цим діаметром повністю заповнить поле зору датчика. Розрахувавши X , ми зможемо зрозуміти, як далеко можна розташувати об'єкт, щоб вимірювання температури залишалися точними.

$$X = \frac{1}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{90^\circ}{2}\right)} \quad (3.4)$$

$$X = 0.5 \quad (3.5)$$

$$D:S = 3:6 \quad (3.5)$$

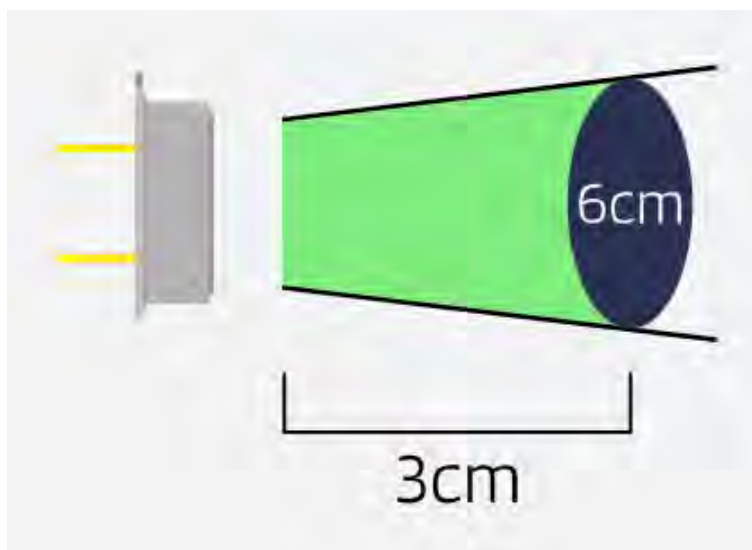


Рис. 21. Візуалізація розрахованого показника візування

Розраховане співвідношення відстані до точки становить 3:6, що означає, що об'єкт із розміром 1 см можна точно вимірювати на відстані до 6 см. Хоча цей показник візування є доволі малим, він цілком відповідає вимогам нашого проєкту. Для нашої поточної реалізації таке співвідношення є достатнім для забезпечення точних вимірювань температури.

У майбутніх версіях проєкту, якщо виникне потреба у збільшенні відстані вимірювань, можна буде використати додаткову зовнішню лінзу. Це дозволить покращити показник візування і розширити можливості системи, забезпечуючи її адаптацію до нових задач.

3.4. Рішення для бездротової передачі даних

Модуль ESP-01 обрано для нашого проєкту через його простоту, доступність і можливості, які ідеально підходять для передачі даних у бездротових системах. Він базується на популярному чіпі ESP8266, який підтримує Wi-Fi і дозволяє підключатися до мережі без необхідності додаткових модулів чи складних налаштувань.

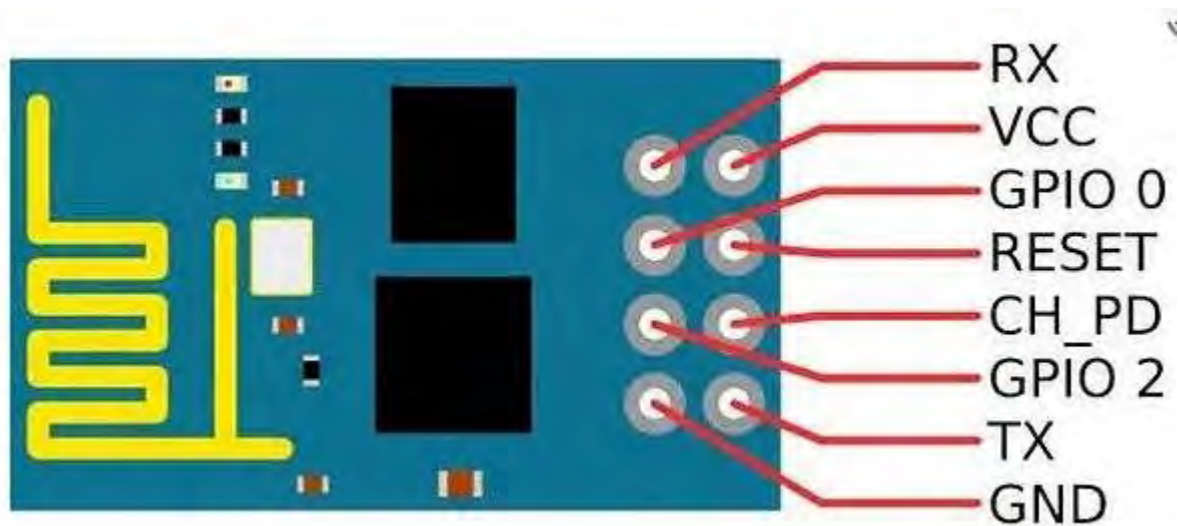


Рис. 22. Піни модуля ESP-01

Основна причина вибору ESP-01 — це його компактність і низьке енергоспоживання. Модуль легко інтегрується в невеликі пристрої, такі як наш пірометр, і не вимагає багато енергії, що особливо важливо для автономних систем, які можуть працювати від батарей. Крім того, ESP-01 підтримує швидку передачу даних, що дозволяє в реальному часі надсилати температурні показники на сервер або інші пристрої.

Ще одна перевага ESP-01 — це його гнучкість. Модуль може працювати як точка доступу (тобто створювати свою Wi-Fi мережу), так і підключатися до існуючої мережі. Це дає можливість використовувати його як у простих, так і в складніших проектах. Наприклад, у нашій системі він може надсилати дані на віддалений сервер через Інтернет або безпосередньо передавати їх на мобільний пристрій.

З технічної точки зору ESP-01 підтримує протоколи, які використовуються для передачі даних у IoT-системах, наприклад, HTTP, MQTT або WebSocket. Це дозволяє легко інтегрувати його в системи моніторингу або аналітики. Наприклад, наш пірометр може надсилати дані в хмару, де вони будуть зберігатися й оброблятися для подальшого аналізу.

Додатковою перевагою є те, що ESP-01 має велике співтовариство користувачів і розробників. Це означає, що для нього є багато прикладів використання, готових бібліотек і рішень, які спрощують налаштування та інтеграцію. Навіть якщо виникнуть якісь складнощі, завжди можна знайти рішення або допомогу від інших розробників.

Нарешті, ESP-01 є дуже доступним за ціною. Це означає, що його використання не збільшує суттєво загальну вартість проекту, що робить його чудовим вибором для систем, які мають бути ефективними і економічними.

Для налаштування та роботи з модулем ESP-01 нам також знадобиться UART-USB адаптер. Цей пристрій дозволяє підключити модуль до комп'ютера через USB-порт для програмування, налаштування і тестування.



Рис. 23. USB-UART TTL

ESP-01 використовує UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) для передачі даних, але комп'ютер зазвичай працює з USB-інтерфейсом. Адаптер діє як посередник між ними, конвертуючи сигнали UART у формат, зрозумілий для USB. Завдяки цьому ми можемо легко завантажувати прошивку в ESP-01, налаштовувати його параметри або відправляти команди для перевірки роботи.

Адаптер зазвичай має роз'єми або піни для підключення до ESP-01. Найчастіше це чотири контакти: VCC (живлення), GND (заземлення), RX (прийом даних) і TX (передача даних). Його підключення дуже просте: потрібно з'єднати відповідні контакти модуля ESP-01 із контактами адаптера. Після цього адаптер підключається до комп'ютера через USB, і модуль стає доступним для роботи.

Крім того, UART-USB адаптер може мати додаткові функції, такі як перемикання між режимами завантаження та роботи ESP-01. Це зручно для завантаження нової прошивки. Адаптер часто підтримує різні рівні напруги, наприклад 3.3V і 5V, що дозволяє використовувати його з різними модулями.

Використання UART-USB адаптера є обов'язковим для початкового налаштування ESP-01, оскільки без нього неможливо підключити модуль до комп'ютера для програмування чи діагностики. Це невеликий, але важливий елемент, який забезпечує зручну і стабільну роботу з модулем ESP-01.

AT-команди — це набір спеціальних текстових інструкцій, які використовуються для налаштування і керування модулем ESP-01. Вони дозволяють взаємодіяти з модулем через серійний порт (UART), надсилаючи текстові команди, які модуль розпізнає та виконує. Це простий і ефективний спосіб керувати функціями модуля без необхідності написання власного програмного забезпечення.

Ключові можливості AT-команд включають налаштування мережі Wi-Fi, обробку з'єднань і передачу даних. Наприклад, за допомогою команди AT+CWMODE можна вибрати режим роботи модуля: точка доступу (AP), клієнт (STA) або обидва одночасно (AP+STA). Команда AT+CWJAP дозволяє підключитися до Wi-Fi мережі, вказавши її назву та пароль.

AT-команди також дають можливість створювати сервери чи клієнтів для передачі даних через TCP або UDP. Наприклад, команда AT+CIPSTART

встановлює з'єднання з сервером, а AT+CIPSEND дозволяє надсилати дані. Для відключення з'єднання використовується команда AT+CIPCLOSE.

Крім основних функцій, AT-команди дають змогу налаштовувати параметри модуля, такі як швидкість серійного порту (команда AT+UART) чи перевіряти стан з'єднання (AT+CIPSTATUS). Є також команди для перезавантаження модуля (AT+RST) або перевірки його готовності (AT).

Одна з переваг AT-команд — це їх універсальність. Вони дозволяють швидко налаштувати і протестувати модуль без складного програмування. Достатньо підключити ESP-01 до комп'ютера через UART-USB адаптер, відкрити серійний монітор і почати надсилати команди. Модуль відповідає текстом, що спрощує розуміння результатів.

Список AT-команд для ESP-01 включає базові команди, такі як AT для перевірки зв'язку, і розширені команди для роботи з Wi-Fi і мережею. Докладний опис кожної команди можна знайти в офіційній документації, що робить цей інструмент доступним навіть для початківців. Це потужний спосіб керувати модулем і інтегрувати його в різні проєкти.

Отже, ESP-01 — це універсальний, доступний і потужний модуль, який дозволить нашій системі працювати ефективно, стабільно і без зайвих ускладнень. Його можливості ідеально відповідають вимогам нашого проєкту, забезпечуючи надійний зв'язок і легку інтеграцію.

3.5. Вибір мікроконтролера

В данній магістрській дисертації використовується мікроконтролер STM32F103CBT6, оскільки він ідеально відповідає вимогам системи. Мікроконтролер — це "мозок" нашого пристрою, який забезпечує обробку

даних, отриманих із датчика MLX90614, і взаємодію з іншими компонентами, такими як модуль ESP-01 для передачі інформації.

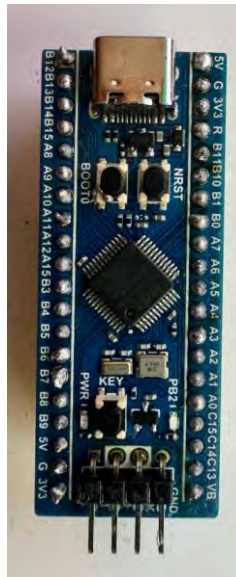


Рис. 24. STM32F103CBT6

STM32F103CBT6 належить до популярної серії STM32, яка базується на архітектурі ARM Cortex-M3. Це потужний і універсальний мікроконтролер, який має низку переваг, необхідних для реалізації нашого проєкту. По-перше, він має високу продуктивність завдяки тактовій частоті до 72 МГц. Це дозволяє обробляти дані в режимі реального часу, що важливо для точного моніторингу температури.

Однією з ключових переваг STM32F103CBT6 є велика кількість периферійних інтерфейсів, таких як I2C, SPI та UART. Це дозволяє легко підключати датчики, модулі зв'язку та інші компоненти. У нашому випадку I2C потрібен для взаємодії з датчиком MLX90614, а UART буде використовуватися для передачі даних через модуль ESP-01. Така гнучкість робить STM32 ідеальним вибором для багатокomпонентних систем.

Ще однією важливою характеристикою STM32F103CBT6 є його пам'ять. Він оснащений 128 кілобайтами флеш-пам'яті для зберігання програмного коду та 20 кілобайтами оперативної пам'яті для обробки даних. Цього більш ніж достатньо

для виконання задач нашого проєкту, включаючи зчитування даних із датчика, обчислення та передачу інформації.

Енергоефективність також є значною перевагою STM32F103CBT6. Він споживає мало енергії, що дозволяє використовувати його в автономних системах, які працюють від батарей. Це особливо важливо для проєктів, які вимагають тривалого часу роботи без підзарядки.

Ще однією причиною вибору STM32F103CBT6 є його популярність серед розробників. Для цього мікроконтролера існує багато готових бібліотек і прикладів коду, що значно спрощує розробку. Крім того, його легко програмувати за допомогою таких середовищ розробки, як STM32CubeIDE, що дозволяє швидко розпочати роботу.

Для програмування мікроконтролера STM32F103CBT6 нам знадобиться програматор ST-Link v2. Це спеціальний пристрій, який дозволяє завантажувати програмний код у мікроконтролер і виконувати налаштування або налагодження. ST-Link v2 є офіційним інструментом від компанії STMicroelectronics, який розроблений саме для роботи з мікроконтролерами серії STM32.

ST-Link v2 підключається до комп'ютера через USB і забезпечує прямий зв'язок із мікроконтролером через інтерфейси SWD (Serial Wire Debug) або JTAG. Завдяки цьому програматор дозволяє завантажувати прошивку швидко і стабільно. Він також підтримує функцію налагодження, що дуже корисно на етапі тестування, оскільки дозволяє відстежувати помилки в коді або аналізувати, як працює програма.

Програматор ST-Link v2 необхідний, оскільки мікроконтролер STM32 сам по собі не має вбудованого інтерфейсу для прямого підключення до комп'ютера. ST-Link v2 забезпечує цей зв'язок і робить процес програмування простим і надійним.

ST-Link v2 підтримує популярні середовища розробки, такі як STM32CubeIDE або Keil, що дозволяє інтегрувати програмування і налагодження в один процес. Це економить час і спрощує роботу. Наприклад, після підключення програматора до STM32 і завантаження прошивки ви можете одразу запустити налагодження в реальному часі, аналізуючи виконання коду крок за кроком.

Ще однією перевагою ST-Link v2 є його доступність і простота використання. Він має компактний дизайн і легко підключається до мікроконтролера через стандартні контакти SWDIO і SWCLK. Зазвичай на платах із STM32 є спеціальний роз'єм для підключення ST-Link, що робить цей процес ще зручнішим.

Отже, ST-Link v2 — це необхідний інструмент для програмування та налаштування мікроконтролерів STM32. Він забезпечує швидкий і стабільний процес завантаження коду, дозволяє проводити налагодження та є важливим елементом у розробці на основі STM32. Без нього інтеграція прошивки в мікроконтролер була б неможливою або значно складнішою.



Рис. 25. Программатор ST-LINK V2

Цей мікроконтролер також має доступну ціну, що робить його економічно вигідним вибором для проєктів будь-якого масштабу. Його надійність і довговічність забезпечують стабільну роботу навіть у складних умовах.

Отже, STM32F103CBT6 ідеально підходить для нашої системи моніторингу температури, оскільки він поєднує високу продуктивність, універсальність, енергоефективність та зручність у використанні. Він стане центральним елементом, який забезпечить синхронну роботу всіх компонентів проєкту.

3.6. Обґрунтування вибору платформи для реалізації серверної частини системи

ThingSpeak — це ідеальне рішення для обробки, зберігання та аналізу даних у системі моніторингу температури. Ця платформа створена спеціально для роботи з IoT-пристроями, що робить її дуже зручною і практичною. Вона дозволяє без складнощів зібрати всі необхідні дані від датчика температури та передати їх через модуль ESP-01 для зберігання, візуалізації та аналізу.



Рис. 26. ThingSpeak

ThingSpeak забезпечує простий доступ до даних через хмару, тобто всі вимірювання можна переглядати з будь-якого пристрою, що має підключення до Інтернету. Це зручно для систем, які повинні працювати віддалено або на великих відстанях. Завдяки цій платформі немає потреби створювати власний сервер або базу даних, адже всі ці функції вже реалізовані. Це дозволяє економити час і зосередитися на функціоналі системи, а не на її технічній інфраструктурі.

ThingSpeak надає інструменти для автоматичної візуалізації даних. Наприклад, під час моніторингу температури можна побачити графіки, які показують, як змінюється температура в реальному часі. Ці графіки будуються автоматично, і для їх створення не потрібно писати жодного рядка коду. Це особливо корисно для аналізу даних або швидкого виявлення змін у температурі.

Крім того, ThingSpeak підтримує передачу даних через HTTP або MQTT-протокол. Модуль ESP-01 легко інтегрується з цією платформою, використовуючи прості запити для передачі показників температури. Унікальні API-ключі забезпечують безпеку передачі даних, тобто тільки авторизовані пристрої можуть надсилати або отримувати інформацію.

Ще однією великою перевагою ThingSpeak є інтеграція з MATLAB. Це означає, що дані, зібрані на платформі, можна обробляти та аналізувати за допомогою потужних математичних інструментів. Наприклад, можна налаштувати автоматичне визначення аномалій у температурних даних або прогнозувати зміни в майбутньому.

Платформа також підтримує сповіщення. Це означає, що можна налаштувати ThingSpeak так, щоб він надсилав повідомлення, коли температура перевищує або падає нижче певного рівня. Такі функції роблять систему моніторингу ще зручнішою та ефективнішою.

Додатково ThingSpeak дозволяє зберігати історію даних, тобто всі показники залишаються доступними для перегляду навіть через тривалий час. Це важливо для аналізу тенденцій або складання звітів. Крім того, платформа підтримує роботу з кількома сенсорами одночасно, що дозволяє створювати більш складні системи моніторингу.

Завдяки простоті налаштування, готовим інструментам для роботи з даними і зручному інтерфейсу ThingSpeak стає ідеальним вибором для нашого проєкту. Це рішення дозволяє з мінімальними зусиллями отримати повноцінну систему для моніторингу температури, яка працює стабільно, надійно і доступна з будь-якої точки світу.

Висновок до розділу

Вибір компонентів для нашої системи дистанційного моніторингу температури ґрунтувався на їх функціональності, надійності та відповідності поставленим задачам. Датчик MLX90614 було обрано через його точність, широкий діапазон вимірювання та безконтактний принцип роботи, що є ключовим для забезпечення стабільних і достовірних результатів. Мікроконтролер STM32F103CBT6 став ідеальним центральним елементом системи завдяки своїй продуктивності, універсальності та підтримці необхідних інтерфейсів, таких як I2C і UART.

Модуль ESP-01 був інтегрований для забезпечення бездротової передачі даних через Wi-Fi, що робить систему мобільною та зручною для використання в різних умовах. Використання ThingSpeak як платформи для зберігання, аналізу і візуалізації даних дозволяє створити хмарну систему, доступну з будь-якої точки світу. Додатково до цього, UART-USB адаптер і програматор ST-Link v2 забезпечують простоту налаштування та програмування мікроконтролера.

Кожен компонент був ретельно відібраний, враховуючи його технічні характеристики, сумісність із системою, доступність на ринку та економічну ефективність. Завдяки цьому створена система є не лише функціональною, а й гнучкою, з можливістю подальшого розширення або модернізації. Обрані деталі дозволяють реалізувати проект із мінімальними затратами часу та ресурсів, забезпечуючи при цьому високу якість і надійність роботи.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ АЛГОРИТМІВ

4.1. Налаштування STM

Для налаштування мікроконтролера STM32F103CBT6 у середовищі STM32CubeIDE потрібно виконати кілька основних кроків. Це середовище розробки дозволяє легко налаштувати мікроконтролер, створити базовий код і підготувати систему до роботи з усіма необхідними компонентами, такими як датчик температури MLX90614 та модуль ESP-01.

Спочатку потрібно створити новий проєкт. У STM32CubeIDE це робиться через спеціальний майстер проєктів. Ми вказуємо модель мікроконтролера (STM32F103CBT6)



Commercial Part No.	Part No.	Reference	Marketing Status	Unit Price for 10kU...	Board	Package	Flash	RAM	IO	Frequency
★ STM32F103CBT6	STM32F103CB	STM32F103CBTx	Active	3.2167		LQFP 48 7x7x1.4 ...	128 kBytes	20 kBytes	37	72 MHz
☆ STM32F103CBT6TR	STM32F103CB	STM32F103CBTx	Active	3.2167		LQFP 48 7x7x1.4 ...	128 kBytes	20 kBytes	37	72 MHz

Рис. 26. Вказуємо модель мікроконтролера

або вибираємо відповідну плату, якщо використовуємо готовий модуль розробки. Після цього вказуємо ім'я проєкту, місце для збереження файлів і завершуємо створення. Програма автоматично відкриє графічний інтерфейс, де можна налаштувати периферію та функціонал мікроконтролера.

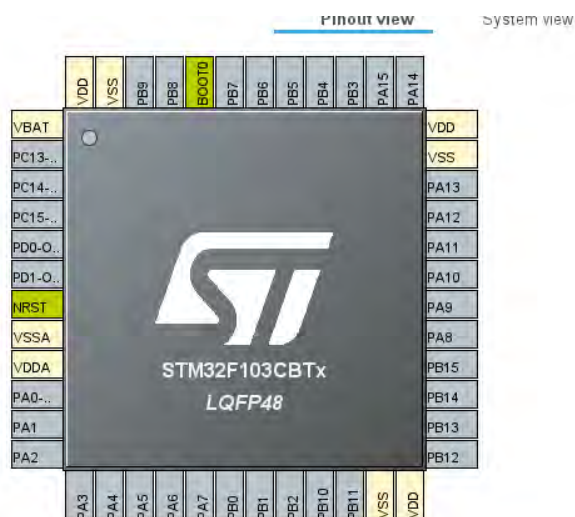


Рис. 27. Графічний інтерфейс

Наступний етап — налаштування пінів, тобто вибір контактів, які будуть використовуватися для підключення зовнішніх пристроїв. Наприклад, для роботи з датчиком MLX90614 потрібен інтерфейс I2C, тому ми активуємо I2C1, який працює через контакти PB6 (SCL) і PB7 (SDA). Для зв'язку з модулем ESP-01 використовується інтерфейс UART, наприклад USART1, який працює через контакти PA9 (TX) і PA10 (RX). Крім того, активуємо контакти SWDIO і SWCLK для програмування мікроконтролера через програматор ST-Link.

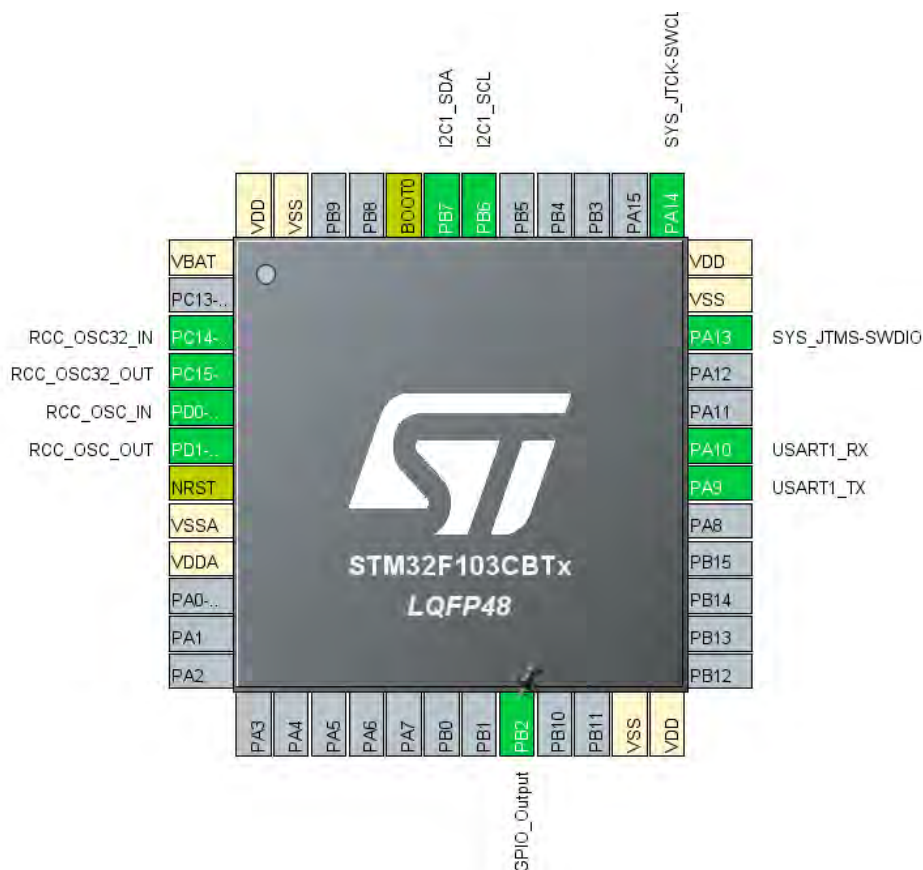


Рис. 28. Налаштування пінів STM32F103CBT6

Після цього налаштуємо тактову частоту мікроконтролера. Це важливо, щоб забезпечити правильну роботу всіх периферійних пристроїв. Зазвичай вибирається максимальна частота 72 МГц із використанням зовнішнього кварцового генератора (HSE).

Надається за запитом до авторів

Рис. 29. Налаштування тактової частоти

Потім конфігуруємо периферію. Для I2C задаємо режим "Master", тобто мікроконтролер буде ініціювати обмін даними. Швидкість обміну вибираємо 100 кГц (або вища, якщо потрібно). Для UART встановлюємо швидкість передачі даних, наприклад, 9600 або 115200 бод, залежно від налаштувань ESP-01. Додатково налаштовуємо формат даних: 8 біт, без парності, 1 стоп-біт.

Після завершення налаштування всіх компонентів генеруємо базовий код проекту.

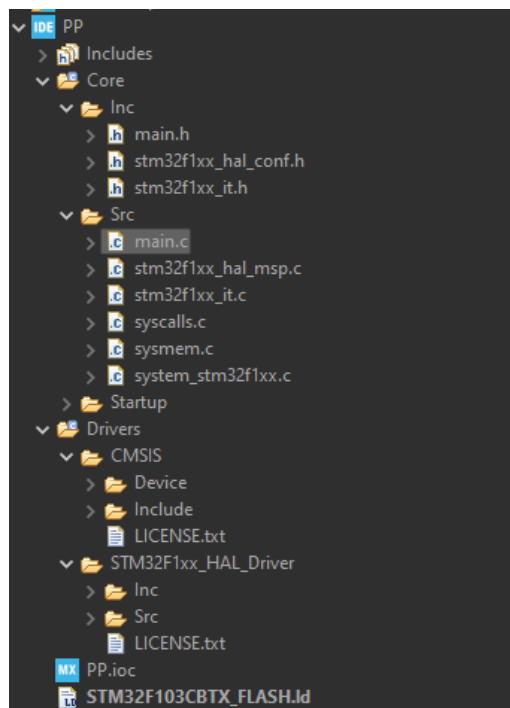


Рис. 30. Базова структура проекту

Програма автоматично створить файли з початковими функціями для роботи з I2C, UART та іншими інтерфейсами. Цей код відкривається в середовищі STM32CubeIDE і готовий для подальшого редагування.

Далі додаємо в код функції, які ініціалізують периферійні пристрої. Наприклад, викликаємо HAL_I2C_Init для налаштування I2C і HAL_UART_Init для роботи з UART. Також можна додати простий тестовий код, щоб перевірити, чи правильно працює взаємодія з датчиком і модулем зв'язку.

Після цього завантажуюмо програму в мікроконтролер. Для цього використовуємо програматор ST-Link v2, який підключається до мікроконтролера через контакти SWD. У STM32CubeIDE запускаємо функцію налагодження, яка завантажує код у пам'ять мікроконтролера. Якщо все зроблено правильно, можна переходити до тестування.

Таке налаштування дозволяє підготувати STM32 для роботи в нашій системі моніторингу температури. Це базова конфігурація, яка забезпечує взаємодію з усіма компонентами, зокрема датчиком температури та модулем для передачі даних через Wi-Fi. У наступних етапах ми будемо працювати над алгоритмами для реалізації всіх функцій системи.

4.2. Алгоритм роботи STM

Ініціалізація системи

При запуску програми перше, що робить система, — це ініціалізація всіх необхідних компонентів. Це включає налаштування мікроконтролера, периферії та підключення до Wi-Fi. Спочатку виконується ініціалізація HAL (Hardware Abstraction Layer) за допомогою функції HAL_Init(), що дозволяє мікроконтролеру почати взаємодіяти з апаратними компонентами.

Потім налаштовується тактова частота мікроконтролера для забезпечення стабільної роботи усіх його складових через функцію SystemClock_Config().

Далі ініціалізуються піні GPIO (для підключення до датчиків та ESP-01), I2C для зчитування даних з датчика MLX90614 і UART для взаємодії з ESP-01. Це виконується функціями `MX_GPIO_Init()`, `MX_I2C1_Init()` та `MX_USART1_UART_Init()`.

Підключення до Wi-Fi

Після налаштування периферії, ESP-01 перезавантажується через команду `AT+RST` і після цього підключається до вказаної Wi-Fi мережі. Підключення здійснюється за допомогою команди `AT+CWJAP`, де вказуються SSID та пароль Wi-Fi мережі. Після успішного підключення до мережі, модуль готовий до передачі даних.

Зчитування температури

У основному циклі програми кожні 15 секунд здійснюється зчитування температури з датчика MLX90614. Для цього викликається функція `ReadTemperature()`, яка за допомогою інтерфейсу I2C отримує дані з датчика

Відправка даних на ThingSpeak

Після отримання температури, програма формує HTTP-запит для відправки даних на платформу ThingSpeak. Для цього використовуються команди AT для налаштування ESP-01. Спочатку встановлюється з'єднання з сервером ThingSpeak за допомогою команди `AT+CIPSTART`, після чого формується HTTP-запит із значенням температури, який надсилається через команду `AT+CIPSEND`. Після того як дані були передані, з'єднання закривається за допомогою команди `AT+CIPCLOSE`.

Циклічність роботи

Цикл роботи програми повторюється кожні 15 секунд. Після відправки даних система чекає задану кількість часу (15 секунд), а потім знову зчитує температуру і відправляє оновлені дані на сервер. Цей процес продовжується безперервно, забезпечуючи регулярну передачу температури на ThingSpeak.

Цей алгоритм дозволяє системі працювати безперервно, зчитувати температуру та передавати її на платформу для подальшого моніторингу та обробки.

4.3. Опис роботи коду проекту

Код для STM32, який зчитує дані з датчика MLX90614 через інтерфейс I2C, а потім надсилає їх на платформу ThingSpeak через ESP-01 за допомогою HTTP-запитів кожні 15 секунд.

```
#include "main.h"
```

Цей рядок підключає заголовковий файл main.h, у якому визначені основні налаштування мікроконтролера, прототипи функцій, оголошення глобальних змінних і структура проекту, створеного за допомогою CubeMX. Це забезпечує зв'язок з конфігураційним кодом та апаратними ініціалізаціями.

Надається за запитом до авторів

з функціями `sprintf()`, а `string.h` — для використання функцій роботи з рядками, таких як `strlen()`.

Надається за запитом до авторів

`UART_HandleTypeDef`. Вони будуть використовуватися для керування периферією I2C та UART відповідно. Ці змінні конфігуруються у функціях `MX_I2C1_Init()` та `MX_USART1_UART_Init()`.

```
#define MLX90614_I2C_ADDRESS 0x5A << 1
```

Визначається макрос `MLX90614_I2C_ADDRESS`, що є адресою інфрачервоного температурного сенсора MLX90614. Адреса `0x5A` для 7-бітного форматування зсувається вліво на 1 біту для роботи з HAL I2C, утворюючи фактичну адресу `0xB4`. Це стандартна вимога HAL-драйвера STM32.

```
#define MLX90614_TOBJ1 0x07
```

Оголошується макрос `MLX90614_TOBJ1` з адресою внутрішнього регістра сенсора MLX90614, де зберігається температура об'єкта (`Tobj1`). З цього регістра за допомогою I2C читатимуться дані про температуру.


```
char apiKey[] = "GG5RSE1VRSB0MQ1M";
```

```
char ssid[] = "TP-Link_B54F";
```

```
char password[] = "18401561";
```

Змінна `apiKey` містить рядок з ключем API для сервісу ThingSpeak. Цей ключ потрібен для відправлення даних на ваш канал ThingSpeak.

Змінна `ssid` містить назву Wi-Fi мережі, до якої планується підключення за допомогою ESP8266.

Змінна `password` містить пароль для підключення до зазначеної вище Wi-Fi мережі.

```
uint8_t data[3];
```

Масив `data` з трьох байтів використовується для зберігання даних, прочитаних з датчика MLX90614. Перші два байти — це сирі дані температури, третій — контрольна сума PEC.

```
char httpRequest[256];
```

Змінна `httpRequest` — це буфер рядкового типу, в який формуватимуться різні AT-команди та HTTP-запити для передачі даних через ESP8266.

```
float temperature;
```

Змінна `temperature` зберігає поточну виміряну температуру, яка зчитується з сенсора та надсилається на ThingSpeak.

```
float ReadTemperature(void) {  
    uint16_t rawData;  
    HAL_I2C_Mem_Read(&hi2c1, MLX90614_I2C_ADDRESS,  
MLX90614_TOBJ1, 1, data, 3, HAL_MAX_DELAY);  
    rawData = data[0] | (data[1] << 8);  
    return rawData * 0.02 - 273.15;  
}
```

Це

функція

ReadTemperature.

Всередині неї оголошується змінна rawData типу uint16_t для зберігання сирих показів.

HAL_I2C_Mem_Read(&hi2c1, MLX90614_I2C_ADDRESS, MLX90614_TOBJ1, 1, data, 3, HAL_MAX_DELAY); виконує читання даних з датчика MLX90614 по I2C. Параметри вказують, що буде прочитано 3 байти починаючи з регістра MLX90614_TOBJ1.

Потім rawData = data[0] | (data[1] << 8); об'єднує два байти в одне 16-бітове число.

Формула rawData * 0.02 - 273.15 перетворює сирі дані в градуси Цельсія, оскільки MLX90614 повертає температуру у форматі Кельвінів (з кроком 0.02K), і потрібно відняти 273.15, щоб отримати Цельсій.

Функція повертає обчислену температуру.

Надається за запитом до авторів

```
}
```

Це функція `SendDataToThingSpeak`, що відправляє виміряну температуру на `ThingSpeak` через `ESP8266`. Спершу формується рядок з AT-командою `AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com",80\r\n`, що встановлює TCP-з'єднання з сервером `ThingSpeak`. Через `HAL_UART_Transmit()` команда надсилається на `ESP8266`. `HAL_Delay(2000)`; дає час модулю на встановлення з'єднання.

Наступним кроком відправляється команда `AT+CIPSEND`, яка інформує `ESP8266`, скільки байтів даних буде відправлено в подальшому HTTP-запиті. Тут використано приблизний розрахунок довжини (`strlen("GET /update?api_key=GG5RSE1VRSB0MQ1M&field1=") + 10`), що додає трохи запасу. Потім знову виклик `HAL_UART_Transmit()` для відправки цієї команди та затримка `HAL_Delay(1000)`; для очікування відповіді. Далі формується безпосередньо рядок HTTP-запиту: `"GET /update?api_key=%s&field1=%.2f\r\n"`, де `%s` заміниться на ваш API ключ, а `%.2f` — на поточну температуру `temp`. Цей запит знову надсилається через `UART` та чекається 2 секунди, щоб сервер `ThingSpeak` міг отримати та обробити дані. Нарешті, надсилається команда `AT+CIPCLOSE\r\n`, щоб закрити TCP-з'єднання, і робиться ще одна секунда затримки. Така послідовність дій забезпечує повний цикл: підключення до сервера, відправлення даних, закриття з'єднання.

```
int main(void) {  
    HAL_Init();  
    SystemClock_Config();  
    MX_GPIO_Init();
```

```
MX_I2C1_Init();
```

```
MX_USART1_UART_Init();
```

Функція `main()` — точка входу в програму. `HAL_Init();` ініціалізує HAL-бібліотеку (Hardware Abstraction Layer) STM32, готуючи системні таймери та базові налаштування. `SystemClock_Config();` – функція для конфігурування системної тактової частоти, налаштування PLL та генераторів такту. `MX_GPIO_Init();` ініціалізує виводи введення/виведення (GPIO). `MX_I2C1_Init();` і `MX_USART1_UART_Init();` ініціалізують відповідно шини I2C та UART з параметрами, налаштованими в CubeMX, щоб можна було взаємодіяти з сенсором та модулем ESP8266.

```
HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)"AT+RST\r\n",  
strlen("AT+RST\r\n"), HAL_MAX_DELAY); HAL_Delay(2000);
```

Надсилається команда AT+RST до ESP8266 через UART, щоб перезавантажити модуль. Далі 2-секундна затримка, щоб дочекатися повного перезапуску.

```
sprintf(httpRequest, "AT+CWJAP=\"%s\", \"%s\"\r\n", ssid, password);  
HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)httpRequest, strlen(httpRequest),  
HAL_MAX_DELAY); HAL_Delay(5000);
```

Формується та надсилається команда підключення до Wi-Fi: AT+CWJAP="TP-Link_B54F","18401561" (згідно введених раніше ssid і password). Потім 5 секунд затримки, щоб ESP8266 міг підключитися до Wi-Fi мережі.

```
while (1) { temperature = ReadTemperature();  
SendDataToThingSpeak(temperature); HAL_Delay(15000); } }
```

Основний нескінченний цикл. `temperature = ReadTemperature();` зчитує поточну температуру з датчика MLX90614.

`SendDataToThingSpeak(temperature);` надсилає отриману температуру на

ThingSpeak.

HAL_Delay(15000); робить паузу в 15 секунд між відправленнями, щоб не перевищувати допустиму частоту оновлень на ThingSpeak (як правило, не частіше, ніж раз на 15 секунд).

```
void SystemClock_Config(void) {} void MX_GPIO_Init(void) {} void  
MX_I2C1_Init(void) {} void MX_USART1_UART_Init(void) {}
```

Ці функції оголошені, але порожні у даному коді. Зазвичай вони заповнюються автогенерованим кодом CubeMX, який настроює тактування, GPIO, I2C та UART. У цьому прикладі, ймовірно, код не включений повністю. В реальному проекті вони міститимуть виклики функцій HAL, які ініціалізують відповідні периферії.

Таким чином, весь код послідовно виконує такі завдання: ініціалізує мікроконтролер та периферію (I2C для сенсора та UART для Wi-Fi модуля), перезавантажує та підключає ESP8266 до Wi-Fi мережі, у безперервному циклі зчитує температуру з MLX90614, формує HTTP-запит та відправляє ці дані на сервер ThingSpeak, роблячи паузи між відправками. Кожний рядок коду служить або для налаштування периферії, або для формування та відправки команд та даних, або для обчислення та обробки інформації від сенсора.

Висновок до розділу

У цьому розділі ми розглянули налаштування мікроконтролера STM32F103CBT6 в середовищі STM32CubeIDE для роботи з датчиком MLX90614 і модулем ESP-01. Спочатку було налаштовано мікроконтролер: вибрано необхідні піни для підключення датчика через I2C і ESP-01 через UART, а також були налаштовані тактова частота і інші важливі параметри. Після цього було розроблено програмний код, який забезпечує зчитування температури з датчика, обробку отриманих даних та їх подальшу передачу на платформу ThingSpeak через ESP-01.

Код був написаний таким чином, щоб кожні 15 секунд зчитувати температуру з датчика, обробляти її та відправляти на ThingSpeak за допомогою HTTP-запиту. Модуль ESP-01 підключається до Wi-Fi мережі і передає дані, що дозволяє зберігати їх на платформі для подальшого аналізу. У результаті розробки було реалізовано стабільне і ефективне зчитування та передавання температури в реальному часі.

Вибір STM32CubeIDE для налаштування мікроконтролера і ThingSpeak для обробки даних дозволив значно спростити процес розробки, знизивши необхідність в створенні власної інфраструктури для серверної частини. Завдяки цьому проєкт став легким у реалізації та масштабуванні.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

5.1. Опис ідеї проєкту технології

У попередніх частинах дипломного проєкту було розроблено модуль системи дистанційного моніторингу температури на основі пірометрів із автоматичною передачею даних для подальшого аналізу. У цьому розділі проведено аналіз стартап-проєкту, мета якого полягає у створенні системи, що забезпечує безперервний моніторинг температури об'єктів, запис їх у базу даних та передачу результатів через сервер на платформи для аналізу, наприклад, ThingSpeak. Основне завдання системи полягає у розробці автономного пристрою, який може виконувати точне вимірювання температури за допомогою пірометра GY-906, обробляти дані за допомогою STM32F103 та передавати їх через Wi-Fi модуль ESP-01.

Система побудована таким чином, щоб забезпечити не лише моніторинг у реальному часі, але й зручний доступ до історії вимірювань. Дані записуються у базу даних, що дозволяє проводити аналіз змін температури протягом тривалого часу. За допомогою інтеграції з платформою ThingSpeak інформація стає доступною для віддаленого моніторингу та аналізу, що дає змогу користувачам швидко реагувати на зміни параметрів.

Для кращого розуміння вимог до реалізації проєкту, його цілей, завдань та орієнтовних термінів була створена інформаційна карта, яка включає ключові аспекти розробки, обробки даних та інтеграції з онлайн-платформами. Інформаційна карта представлена у вигляді таблиці 5.1 нижче.

Інформаційна карта

Назва блоку	Характеристика
1	2
Загальна характеристика стартап-проєкту	
Назва стартап-проєкту	Система дистанційного моніторингу температури на основі пірометрів із автоматичною передачею даних
Проблематика, яку вирішує стартап проєкт	<p>Проблематика, яку вирішує стартап-проєкт</p> <p>Стартап-проєкт, описаний у цьому дипломному проєкті, спрямований на створення системи дистанційного моніторингу температури з автоматичною передачею даних для подальшого аналізу. Система забезпечує безперервний контроль температурних показників об'єктів, автоматично записуючи дані у базу та передаючи їх на сервер. Це вирішує проблему несвоєчасного виявлення відхилень температурного режиму, що може спричинити аварії, втрату якості продукції або ризику для безпеки. Проєкт спрямований на покращення доступності моніторингу температури та зниження ризиків у промисловості, сільському господарстві або інших галузях.</p>
Головні цілі та завдання проєкту	1. Забезпечення регулярного моніторингу температури: Мета проєкту полягає у створенні системи, яка дозволяє здійснювати

	<p>безперервний контроль за температурою об'єктів у режимі реального часу, забезпечуючи своєчасне виявлення відхилень.</p> <p>2. Автоматизація передачі даних: Система повинна забезпечити автоматичний запис результатів у базу даних та передачу інформації на онлайн-платформи, такі як ThingSpeak, для віддаленого доступу та аналізу.</p> <p>3. Підвищення ефективності моніторингу: Використання точного пірометра GY-906 та STM32F103 для обробки даних забезпечує точність і швидкість вимірювань, дозволяючи покращити процеси контролю.</p> <p>4. Мінімізація ризиків через сповіщення: Проєкт передбачає впровадження механізму сповіщення у разі перевищення допустимих значень температури, що дозволить оперативно реагувати на критичні ситуації.</p> <p>5. Масштабованість і адаптивність системи: Система повинна мати можливість інтеграції з іншими датчиками, функціями або платформами, що дозволить її адаптацію до різних сфер застосування..</p>
<p>Головні цільові групи, на які спрямований проєкт</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Промислові підприємства для моніторингу температури обладнання

	<ul style="list-style-type: none"> • Сільськогосподарські компанії для контролю умов зберігання та транспортування продукції • Логістичні центри для підтримання температурного режиму на складах • Науково-дослідні установи для точного вимірювання температур у експериментах • Приватні користувачі, які потребують точного дистанційного контролю температури в своїх системах або будівлях
Автори та команда стартап-проєкту	
Автори стартап-проєкту	Автори проєкту: Акуленко Олександр Сергійович, Лисенко Юлія Юріївна
Команда стартап-проєкту	Акуленко Олександр Сергійович, Лисенко Юлія Юріївна автори проєкту, Інвестори, керівники, працівники-дизайнери, інженери
Опис продукту стартап-проєкту	
Назва та коротка характеристика мінімального життєздатного продукту стартапу (MVP)	«ThermoMonitor Pro» – це мінімально життєздатний продукт для дистанційного моніторингу температури. Забезпечуючи точний вимір температури за допомогою пірометра GY-906, цей пристрій дозволяє проводити безперервний моніторинг температурного режиму об'єктів. «ThermoMonitor Pro» пропонує базовий функціонал для збору даних, які обробляються

	<p>мікроконтролером STM32F103 та передаються через Wi-Fi модуль ESP-01 на платформу ThingSpeak. Це дозволяє користувачам отримувати доступ до даних у реальному часі, аналізувати історію вимірювань та налаштовувати автоматичні сповіщення у разі виявлення критичних температурних відхилень.</p>
<p>Сфера застосування та функціональне призначення продукту</p>	<p>«ThermoMonitor Pro» призначений для використання у промисловості, сільському господарстві, логістиці та інших сферах, де важливо забезпечити контроль температурного режиму. Пристрій може застосовуватися для моніторингу температури обладнання, умов зберігання та транспортування продукції, а також для наукових досліджень.</p>
<p>Опис унікальних властивостей продукту стартапу</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Висока точність вимірювання температури за допомогою GY-906. <input type="checkbox"/> Автоматична передача даних на платформу ThingSpeak для зручного віддаленого доступу. <input type="checkbox"/> Можливість інтеграції з іншими сенсорами та платформами. <input type="checkbox"/> Компактний дизайн і низьке енергоспоживання, що робить пристрій ідеальним для тривалого використання.

	<p>□ Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для збору й аналізу даних, доступний навіть для користувачів без спеціалізованих знань.</p>
<p>Стадія розробки продукту стартапу</p>	<p>Продукт супроводжується безкоштовним технічним обслуговуванням у разі несправностей, а також плановим обслуговуванням раз на 6 місяців для забезпечення стабільної роботи пристрою. Передбачено службу підтримки, яка надає консультації з налаштування та експлуатації пристрою.</p>
<p>Технічні характеристики</p>	<p>«Для реалізації «ThermoMonitor Pro» потрібні такі компоненти:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Інфрачервоний пірометр GY-906. • Мікроконтролер STM32F103. • Wi-Fi модуль ESP-01. • Платформа ThingSpeak для обробки та аналізу даних.
<p>Супровід продукту</p>	<p>Супровід продукту, включає безкоштовне технічне обслуговування в разі несправностей у технічних сервісах компанії. Також передбачено регулярне технічне обслуговування для забезпечення коректної роботи пристрою, яке проводиться кожні шість місяців. Користувачі можуть звертатися до служби підтримки для вирішення будь-яких питань або проблем, пов'язаних з роботою</p>

	пристрою, а також отримати консультації з налаштування та експлуатації продукту.
Забезпечення стартап-проєкту	
Необхідні ресурси	На першому етапі розробки «ThermoMonitor Pro» потрібні: пірометр GY-906, плата STM32F103, модуль ESP-01, а також фінансування в розмірі 2 000 000 грн для виробничих витрат, просування та маркетингових заходів..
Потреба в інвестиціях	Залучення коштів планується через платформу Kickstarter та шляхом пошуку інвесторів, зацікавлених у впровадженні інновацій для моніторингу температури..
Інтелектуальна власність	Усі права на дизайн пристрою, його модулі, а також зображення, креслення, фото та технічний опис належать авторам стартапу «ThermoMonitor Pro».
Результати стартап-проєкту	
Термін реалізації стартап-проєкту	Термін реалізації стартап-проєкту «ThermoMonitor Pro» складає 12 місяців, включаючи етапи розробки перших прототипів, тестування, серійного виробництва та запуску на ринок.

Плановані кількісні показники	Запуск серійного виробництва та вихід на український ринок протягом перших 12 місяців. Подальший розвиток передбачає розширення продажів та вихід на міжнародний ринок у наступні 24 місяці.
Якісні показники	Покращення доступності та ефективності моніторингу температури. Продукт має на меті забезпечити точність і своєчасність збору даних, а також їх надійну передачу.
Загальні очікувані результати	Успішний запуск продукту на ринку та популяризація серед промислових підприємств, логістичних центрів, сільськогосподарських компаній і наукових установ. Метою є забезпечення ефективного та безпечного моніторингу температури, що дозволяє своєчасно реагувати на відхилення.

Із сформованої вище таблиці можна зробити висновок, що процес реалізації стартап-проєкту «ThermoMonitor Pro» займе приблизно 12 місяців, з урахуванням всіх етапів від залучення інвестицій до запуску серійного виробництва та налаштування оптимального режиму роботи системи.

Для формування більш ефективних і обґрунтованих рішень щодо конструкції пристрою було вирішено застосувати метод формування «морфологічної карти». Саму карту представлено в таблиці 5.2 нижче..

Таблиця 5.2

Морфологічна карта проєкту

	1-ше рішення
--	--------------

Параметри Кількість датчиків	1 датчик	2 датчики	3 і більше	Інше
Тип датчиків	Інфрачервоний пірометр GY-906	Пірометр GY-906 + сенсор температури середовища	Пірометр GY-906, сенсор вологості та температури	Інші датчики, включаючи спеціалізовані сенсори
Розташування	У корпусі стаціонарного пристрою	У корпусі мобільного пристрою	У корпусі з кріпленням для обладнання	У корпусі, адаптованому для різних застосувань
Механізм фіксації модуля	Вбудований у корпус	Вмонтований у корпус з адаптерами	Вбудований у корпус із мобільними елементами	Інтеграція з обладнанням, на якому здійснюється моніторинг
Тип інтерфейсу	Кабельний	Кабельний	Бездротовий (Wi-Fi, ESP-01)	Кабельний або бездротовий (з вибором типу з'єднання)

Параметри	1-ше рішення	2-ше рішення	3-ше рішення	4-ше рішення
-----------	--------------	--------------	--------------	--------------

Відповідно до морфологічної карти проекту «ThermoMonitor Pro», оптимальні рішення для безпосередньої розробки модуля визначаються наступним чином:

Кількість датчиків: 1 датчик (інфрачервоний пірометр GY-906).

Тип датчиків: Інфрачервоний пірометр для точного вимірювання температури.

Механізм фіксації модуля: Вмонтований у корпус стаціонарного пристрою або адаптований для мобільного розміщення.

Тип інтерфейсу: Бездротове з'єднання з платформою ThingSpeak через Wi-Fi модуль ESP-01.

Таким чином, оптимальним рішенням є використання одного високоточного пірометра для вимірювання температури. Модуль буде вбудований у компактний корпус із можливістю стаціонарного або мобільного застосування. Інтерфейс забезпечуватиме бездротову передачу даних на сервер через Інтернет, що дозволить здійснювати віддалений моніторинг температурного режиму в реальному часі.

Для більш ретельного розгортання концепції стартап-проекту ми створили таблицю, в якій визначено сфери застосування та вигоди від використання модуля для кінцевого користувача (див. Таблицю 5.3).

Таблиця 5.3

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
------------	-----------------------	------------------------

Система дистанційного моніторингу температури – «ThermoMonitor Pro»	Моніторинг температурного режиму об'єктів у реальному часі.	Безперервний контроль температури для запобігання аварійним ситуаціям.
Контроль умов зберігання та транспортування продукції.	Збереження якості продукції завдяки стабільним температурним умовам.	
Використання персоналізованого програмного забезпечення для збору та аналізу температурних даних.	Покращення точності моніторингу через автоматичний аналіз даних.	
Віддалений доступ до даних через платформу ThingSpeak для моніторингу та аналізу.	Зручний доступ до результатів аналізу та можливість моніторингу з будь-якого місця.	

Відповідно до таблиці 4.3, «ThermoMonitor Pro» є інноваційною системою для моніторингу температури з віддаленим збором та аналізом даних. Ця система дозволяє проводити автоматизований контроль температури об'єктів у реальному часі, використовуючи інфрачервоний пірометр GY-906. Інтеграція з платформою ThingSpeak забезпечує зручний аналіз даних і швидкий доступ до історії вимірювань без необхідності додаткового програмного забезпечення. Віддалений моніторинг через Інтернет дозволяє отримувати актуальну інформацію з будь-якого місця, що є значною перевагою для багатьох галузей.

Основні конкуренти на ринку моніторингу температури:

Fluke TiS Thermal Imagers

Extech IR200

SmartSensor AR882

Таблиця 5.4.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

П / П	Пара метри Швидкий зворотній зв'язок	Мій проєкт				F Health Monitor 1	V Health Solutions Ц видки й зворотній зв'язок	A Apple Health
		Н аявний	На явний	Н аявний	Н аявний			
	Інтеграція з системами аналізу стану людини	Н аявна	Ві дсутня	В ідсутня	В ідсутня	2	І нтеграція з системами аналізу стану людини	-

	Здатність до апгрейду	Наявна	Відсутня	Відсутня	Наявна	3	3	Здатність до апгрейду	+
	Вебсайт з моніторингом	Наявний	Відсутній	Відсутній	Відсутній	4	4	Вебсайт з моніторингом	-
	Легкість у використанні	Наявна	Наявна	Відсутня	Відсутня	5	5	Легкість у використанні	-
	Портативність	Наявна	Відсутня	Відсутня	Відсутня	6	6	Портативність	+
	Наявність персонального кабінету	Наявний	Відсутній	Відсутній	Наявний	7	7	Наявність персонального кабінету	-

	Ціна обслуговування та модулів	Н изька	Ви сока	В исока	В исока	8	Ц іна обслу говува ння та модул ів	+
п / п	Пара метри	М ій проект	Fit bit Health Monitor	W ithings Health Solutio ns	A pple Health	№ п/п	П араметри	-

З огляду на представлену інформацію, можна зробити висновок, що «ThermoMonitor Pro» є перспективним і конкурентоспроможним проектом у сфері систем моніторингу стану людини з можливістю віддаленого збору та аналізу даних. Для оцінки реалізованості цієї ідеї буде проведено технологічний аудит (див. табл. 5.5)

Таблиця 5.5.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автоматизований модуль для	Використання мікроконтролер	Наявність	У відкритому доступі

	моніторингу температури	а STM32F103 для управління модулем		
2	Система вимірювання та аналізу температурних даних	Інтеграція з інфрачервоним пірометром GY-906 і передача даних через ESP-01	Наявні	Доступно
3	Оптимізація обробки даних	Використання персонально-розробленого програмного забезпечення для аналізу даних	Наявні	У відкритому доступі
4	Віддалений моніторинг температури	Використання мережі Інтернет та платформи ThingSpeak для дистанційного моніторингу	Наявні	Доступно
5	Інтеграція з існуючими системами	Сумісність з платформами для аналізу та	Наявні	Доступно

		зберігання даних		
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: можлива для реалізації				

Виходячи з наведеної вище таблиці, можна зробити висновок, що реалізація проєкту «ThermoMonitor Pro» є технологічно здійсненою. Всі необхідні технології для створення автоматизованого модуля моніторингу температури є наявними та доступними для використання. Мікроконтролер STM32F103, який є основним елементом проєкту, доступний для закупівлі за конкурентними цінами, а програмне забезпечення, розроблене для цієї платформи, є відкритим і доступним для розробників, що значно спрощує процес інтеграції..

5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проєкту

Оцінимо основні перспективи ринкового впровадження нашого проєкту «ThermoMonitor Pro» та визначимо можливі загрози, які можуть виникнути під час його реалізації. Цей аналіз спрямований на успішний вивід проєкту на український ринок із подальшою перспективою розширення на міжнародному рівні.

Перш за все, проведемо детальний аналіз попиту на продукцію, враховуючи такі ключові аспекти:

1. Наявність попиту:

Продукція, орієнтована на дистанційний моніторинг температури, має високу актуальність у сферах промисловості, сільського господарства, логістики та побуту. Зростання уваги до точності та безпеки робить такі системи затребуваними.

2. Обсяг ринку:

Ринок обладнання для моніторингу температури демонструє стабільне

зростання завдяки широкій сфері застосування. Попит на подібні рішення є як серед великих підприємств, так і серед приватних користувачів.

3. Динаміка розвитку:

Зростання ринку підтримується інноваціями у сфері дистанційного моніторингу та автоматизації. Використання сучасних технологій, таких як IoT та хмарні платформи, сприяє збільшенню інтересу до подібних продуктів.

Далі детальний аналіз цих параметрів дозволить створити більш чітке уявлення про потенціал проєкту та спрогнозувати його успіх на ринку. (табл. 5.6).

Таблиця 5.6.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	5 000 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільний ріст
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Висока конкуренція, інтелектуальна власність
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідна сертифікація відповідно до стандартів безпеки та ефективності

6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	12,8 %
---	---	--------

Відповідно до попередньої характеристики, зокрема до середньої норми рентабельності в галузі, яка становить 12,8%, можна зробити висновок, що ринок моніторингу температури із віддаленим збором і аналізом даних є перспективним. Основною перевагою є те, що більшість постачальників подібних систем представляють іноземних виробників, що створює можливість для вітчизняних стартапів зміцнити свої позиції у цій галузі. Запуск власного проєкту «ThermoMonitor Pro» може бути особливо успішним в Україні, із подальшою перспективою виходу на міжнародні ринки.

Для подальшого дослідження ринку та оцінки можливостей впровадження стартап-проєкту необхідно провести аналіз потенційних сегментів клієнтів, визначити їхні характеристики та сформулювати основні вимоги до продукту

Таблиця 5.7.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Автоматизований моніторинг температури з віддаленим збором та аналізом даних	Промислові підприємства, логістичні компанії, сільськогосподарські компанії,	Різниця в потребах щодо температурних діапазонів, точності	Висока точність вимірювань, стабільність роботи,

	приватні користувачі	вимірювань і можливості інтеграції з іншими системами	зручний доступ до даних у реальному часі
--	----------------------	---	--

Враховуючи представлену таблицю, можна зробити висновок, що на ринку є попит на системи моніторингу температури з віддаленим збором та аналізом даних. Такі технології стають дедалі популярнішими, але все ще недостатньо широко представлені. Основна цільова аудиторія включає промислові підприємства, логістичні компанії, сільськогосподарські підприємства та приватних користувачів, які потребують постійного контролю температурного режиму.

Різниця у вимогах залежить від специфіки використання: для промисловості ключовим є високий рівень точності та стабільність роботи, тоді як для приватних користувачів важливі зручність використання та доступність системи.

Для успішного впровадження «ThermoMonitor Pro» необхідно врахувати потенційні виклики, які можуть виникнути під час реалізації проєкту. У таблиці 5.8 наведено основні фактори, які можуть вплинути на можливості реалізації та підтримання конкурентоспроможності проєкту..

Таблиця 5.8.

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Неоптимальна інтеграція з існуючими системами	Недостатня сумісність з іншими системами моніторингу чи пристроями через різні протоколи чи формати даних.	Проведення тестування сумісності, оптимізація інтеграції, розробка адаптерів для підтримки стандартів ринку.
2	Високі вартості обслуговування та підтримки	Збільшення витрат на обслуговування, особливо при використанні спеціалізованих сенсорів.	Оптимізація обслуговування, впровадження систем самообслуговування і віддаленої підтримки через онлайн-платформи.
3	Низька готовність ринку до інновацій	Відмова ринку приймати інновації в системах моніторингу через недостатню обізнаність або упередження.	Проведення просвітницьких кампаній, співпраця з інституціями для популяризації інновацій.
4	Недостатня точність даних	Потенційні проблеми з точністю вимірювань від сенсорів, що може	Покращення алгоритмів обробки даних, впровадження фільтрації та модернізація сенсорів і

		знижувати ефективність моніторингу.	програмного забезпечення.
5	Безпека і захист даних	Ризик витоку або зловживання даними через віддалену передачу інформації.	Впровадження шифрування, сертифікація ПЗ відповідно до стандартів безпеки даних і забезпечення відповідності вимогам.

Продовження таблиці 4.8

6.	Залежність від постачальників компонентів	Затримки чи дефіцит постачання компонентів для збору та обробки даних, таких як мікроконтролери (STM32) чи сенсори для вимірювання біоелектричних сигналів.	Диверсифікація постачальників, укладення стратегічних партнерств для забезпечення стабільності поставок. Визначення альтернативних компонентів для мінімізації ризиків.
----	---	---	---

Аналіз можливостей для проєкту «ThermoMonitor Pro» демонструє значний потенціал для його впровадження та розвитку як на українському, так і на міжнародному ринках. Основною можливістю є зростання попиту на дистанційний моніторинг у різних сферах, включаючи промисловість, сільське господарство та побут. Відсутність масових аналогів на ринку України створює конкурентну перевагу для швидкого захоплення ринку.

Розширення на міжнародні ринки є перспективним завдяки недостатній кількості конкурентів із подібними рішеннями. Партнерства з виробниками обладнання відкривають нові канали інтеграції систем моніторингу температури, а впровадження сучасних алгоритмів аналізу великих даних дозволяє підвищити ефективність системи. Інвестиційні програми, що підтримують інноваційні проекти, також створюють додаткові можливості для фінансування розвитку.

Державна підтримка інновацій та законодавчі ініціативи в галузі цифровізації й автоматизації процесів сприяють формуванню сприятливого середовища для реалізації проекту. Гнучкість і масштабованість системи дозволяють адаптувати її під різні потреби клієнтів, додаючи нові функції та модулі.

Таким чином, «ThermoMonitor Pro» має всі шанси стати конкурентоспроможним продуктом, що займе свою нішу на ринку, забезпечуючи ефективність і надійність у дистанційному моніторингу температури.

Таблиця 5.9.

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Ефективність вартості	Проведений аналіз компонентів дозволяє обрати оптимальні за якістю і ціною рішення для	Розгляд можливості використання більш точних, хоча й дорожчих компонентів для

		технологічної складової проекту.	поліпшення якості модуля.
2	Неперевершена технологія	Відсутність доступної технології моніторингу температури для дистанційного збору та аналізу даних на ринку.	Запуск виробництва на українському ринку для зайняття лідерської позиції у цій ніші.
3	Простота конструкції	Простота реалізації забезпечує доступність компонентів, що дозволяє швидко запустити та масштабувати виробництво.	Швидке налагодження виробничих процесів та розширення масштабів виробництва.
4	Постійна технологічна підтримка	Постійний контроль якості роботи модуля і його впливу на процес моніторингу температури.	Забезпечення постійної технологічної підтримки, консультацій і збору відгуків для вдосконалення модуля.
5	Розвиток технології	Можливість вдосконалення конструкції і	Активне дослідження ринку для реалізації нових

		програмної складової модуля.	технологічних рішень і покращення модуля.
--	--	---------------------------------	---

Для більш детального розуміння конкурентного середовища та його впливу на функціонування підприємства, було проведено аналіз особливостей конкуренції на ринку систем моніторингу температури, результати якого відображено у таблиці 5.10.

На основі ступеневого аналізу конкуренції виявлено певні бар'єри для виходу на український та міжнародний ринки. Основними з них є олігопольна структура ринку, де переважає обмежена кількість іноземних компаній, що домінують на українському ринку через посередників. Така структура обмежує доступ до потенційних клієнтів через високу конкуренцію та значний вплив міжнародних брендів.

Це створює виклики для нових гравців, таких як «ThermoMonitor Pro», однак водночас відкриває можливості для впровадження інноваційних рішень за доступнішою ціною, що може стати ключовою перевагою для завоювання частки ринку.

Таким чином, для успішного виходу на ринок необхідно зосередитися на унікальності продукту, його адаптації до місцевих потреб та активній маркетинговій стратегії, спрямованій на демонстрацію переваг перед іноземними аналогами.

Таблиця 4.10.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№	Особливості конкурентного середовища	Прояви даної характеристики	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії для конкурентоспроможності)
1	Тип конкуренції: олігополія	Невелика кількість компаній-постачальників, які домінують через посередників на ринку моніторингу температури.	Розвиток власного виробництва в Україні для здобуття значної частки ринку та зменшення залежності від посередників.
2	Рівень конкурентної боротьби: національний	Наявність бар'єрів для входу нових гравців на ринок дистанційного моніторингу.	Співпраця з великими виробниками, підвищення стандартів якості, адаптація продукту під локальні потреби.
3	Галузева ознака: внутрішньогалузева	Конкуренція серед компаній, які працюють у сфері моніторингу температури та	Поліпшення якості продукції, впровадження нових функцій, оптимізація виробничих процесів.

		суміжних технологій.	
4	Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Змагання з іншими компаніями, які пропонують подібні рішення для дистанційного моніторингу.	Збільшення інвестицій у маркетинг, рекламу та створення унікальної ціннісної пропозиції.
5	Характер конкурентних переваг: нецінова	Акцент на якості, функціональності та простоті використання продукту.	Підвищення попиту через демонстрацію високої якості, точності та надійності системи.
6	Інтенсивність конкуренції: марочна	Присутність відомих міжнародних брендів на ринку моніторингу температури.	Розробка унікальних рішень, формування чіткої ринкової позиції, орієнтація на специфічні потреби користувачів.

Зважаючи на ринкові умови та існуючі конкурентні виклики, створення повністю українського виробництва для систем моніторингу температури може забезпечити ефективний шлях до завоювання лідерських позицій на ринку. На тлі домінування міжнародних компаній, які працюють через посередників, локалізація виробництва дозволить не лише зменшити витрати, але й забезпечити адаптацію продукту до потреб місцевих споживачів. Це відкриває

перспективи для підприємства зайняти значну частку ринку, конкуруючи з міжнародними брендами на основі інновацій, якості та доступності.

Після оцінки конкурентного середовища був проведений аналіз умов конкуренції за моделлю Портера, який відображає основні сили, що впливають на галузь. Результати аналізу наведені у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу IDF monitoring	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Fitbit Health Monitor, Apple Health	Виробники електронних компонентів, бази даних	Лікарні, фітнес-клуби, будинки для літніх людей	Лікарні, фітнес-клуби, будинки для літніх людей	Смарт-годинники
Висновки	Низька інтенсивність конкуренції через різницю в	Можливі виходи на ринок через відсутність аналогічних модулів у	Постачальники не диктують жорстких умов, але є залежність від постачання	Клієнти можуть впливати на умови контрактів через	Існують товари-замінники зі схожим функціоном, але з

	масштабах, функціоналі та ціні	потенційних конкурентів	електроніки та баз даних	переговорну силу	обмежені можливостями
--	--------------------------------	-------------------------	--------------------------	------------------	-----------------------

З проведеного аналізу випливає, що ринок моніторингу стану людини насичений продуктами зі схожим функціоналом контролю фізичних показників. Проте ці продукти відрізняються масштабами, технологічною оснасткою та ціною. Існують можливості для виходу на ринок завдяки відсутності безпосередніх аналогів запропонованого модуля, а також через відносно низьку інтенсивність конкуренції. Більшість існуючих рішень не спеціалізуються виключно на контролі стану людини, що створює додатковий потенціал для впровадження інноваційного продукту.

Залежність від постачальників, зокрема виробників електронних компонентів та баз даних, може впливати на умови контрактів і співпраці, що вимагає ретельного планування закупівель і побудови стратегічних партнерств. Клієнтська база, представлена лікарнями, фітнес-клубами та будинками для людей похилого віку, потребує врахування індивідуальних потреб і чітких умов співпраці.

На основі проведених досліджень слід визначити перелік факторів, що впливають на конкурентоспроможність проєкту на поточному ринку моніторингу стану людини, який представлено в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
-------	-------------------------------	---------------

1	Точність і надійність вимірювань	Використання високоточних сенсорів, таких як GY-906, забезпечує високу точність даних, критично важливу для промислових і побутових застосувань.
2	Масштабованість системи	Система легко адаптується до різних потреб, від індивідуального моніторингу до великих логістичних або промислових комплексів.
3	Енергоефективність	Застосування енергоефективних компонентів дозволяє знижувати витрати на електроенергію, що є важливим для тривалого використання пристрою.
4	Гнучкість інтеграції з існуючими системами	Можливість легкої інтеграції з існуючими системами через стандартизовані протоколи робить впровадження нових технологій менш затратним.
5	Регулярні оновлення програмного забезпечення	Автоматичні оновлення забезпечують актуальність функціоналу, безпеку та стабільність роботи системи, мінімізуючи витрати на підтримку.

Після аналізу факторів конкурентоспроможності проведемо порівняльний аналіз слабких та сильних сторін (табл. 5.13).

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «HealthMonitor Pro»

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER_Company							
			3	2	1		1	2	3	
	Точність і надійність вимірювань	18								
	Масштабованість системи	16								
	Енергоефективність	12								
	Гнучкість інтеграції з існуючими системами	17								
	Регулярні оновлення програмного забезпечення	14								

Порівняльний аналіз демонструє, що проєкт «ThermoMonitor Pro» володіє значними конкурентними перевагами завдяки високій точності та надійності вимірювань, досягнутих за допомогою сенсорів, таких як GY-906. Масштабованість системи забезпечує її адаптацію для різних потреб — від індивідуального моніторингу до використання в промислових або логістичних об'єктах. Використання енергоефективних компонентів, наприклад STM32,

сприяє оптимізації енергоспоживання, що є ключовим для тривалого використання системи.

Гнучка інтеграція з існуючими платформами моніторингу та регулярні оновлення програмного забезпечення гарантують додавання нових функцій і підвищення рівня безпеки. Ці особливості зміцнюють конкурентоспроможність проєкту та його привабливість для широкого кола користувачів.

На основі проведеного аналізу створимо узагальнений SWOT-аналіз, який охоплює сильні та слабкі сторони, можливості та загрози для проєкту «ThermoMonitor Pro» (табл. 5.14).

SWOT-аналіз для проєкту "HealthMonitor Pro"

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Висока точність і надійність вимірювань завдяки використанню сенсорів, таких як GY-906. 2. Масштабованість системи, що дозволяє адаптувати її для різних сфер застосування. 3. Енергоефективність компонентів, що знижує витрати на електроенергію та забезпечує автономну роботу. 4. Гнучкість інтеграції з існуючими платформами моніторингу та іншими системами. 5. Регулярні оновлення ПЗ для додавання нових функцій та підвищення безпеки. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Можливі труднощі з інтеграцією з певними існуючими системами моніторингу. 2. Потреба у додаткових ресурсах для підтримки великомасштабного впровадження. 3. Значні витрати на сертифікацію та відповідність стандартам безпеки. 4. Ризик неповної сумісності з деякими технологіями, що вже використовуються. 5. Потенційні затримки в оновленнях через обмеженість ресурсів.
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розвиток ринку віддаленого моніторингу та зростання попиту на такі рішення. 2. Зростаючий попит на персоналізоване здоров'я та відповідні технології. 3. Можливість розширення функціональності системи для 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Залежність від постачальників компонентів та ризик затримок у постачанні. 2. Ризик витоку чутливих даних через потенційні вразливості системи захисту.

<p>задоволення додаткових потреб клієнтів.</p> <p>4. Співпраця з медичними установами та навчальними закладами для популяризації продукту.</p>	<p>3. Низька готовність ринку до впровадження нових інноваційних медичних рішень.</p> <p>4. Зростаюча конкуренція з боку великих міжнародних компаній.</p>
--	--

Загальний аналіз підтверджує, що проєкт «ThermoMonitor Pro» має значний потенціал для успішного впровадження на ринок завдяки унікальній технології та здатності інтегруватися з існуючими системами моніторингу. Незважаючи на окремі слабкі сторони та можливі загрози, їх можна ефективно подолати шляхом впровадження відповідних стратегій та забезпечення високої якості роботи системи.

На основі проведеного SWOT-аналізу для проєкту «ThermoMonitor Pro» розроблено стратегії, які враховують як внутрішні, так і зовнішні фактори, що впливають на успішність проєкту (табл. 5.15). Визначено кілька альтернативних напрямків розвитку, спрямованих на підвищення конкурентоспроможності та ринкового успіху. Основними аспектами є покращення точності та надійності вимірювань, розширення функціональності системи відповідно до сучасних вимог ринку, а також активна рекламна кампанія. Це дозволить залучити нових користувачів і партнерів, зміцнити позиції проєкту на ринку та збільшити його частку.

Запропоновані стратегії спрямовані на довгостроковий і стабільний розвиток проєкту, враховуючи особливості ринку та потреби споживачів..

Таблиця 5.15.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту " ThermoMonitor Pro"

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Вдосконалення точності і надійності вимірювань	Ресурси доступні та спрямовані на підвищення ефективності модуля	3 місяці
2	Розширення функціоналу та можливостей системи	Забезпечить конкурентні переваги та високу популярність продукту	4–5 місяців

Ці стратегії спрямовані на досягнення різноманітних цілей: покращення точності вимірювань і надійності роботи системи, розширення функціональних можливостей продукту, а також підвищення його популярності за допомогою рекламних кампаній і розвитку партнерських відносин.

Вибір оптимальної стратегії для реалізації проєкту «ThermoMonitor Pro» дозволить ефективно використовувати доступні ресурси та максимально реалізувати конкурентні переваги продукту на ринку технологій для моніторингу температури. Завдяки комплексному підходу та фокусуванню на ключових аспектах успіху проєкт зможе досягти стабільного розвитку й зайняти лідируючі позиції в своїй ніші..

5.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Для якісної розробки ринкової стратегії проєкту «ThermoMonitor Pro» необхідно чітко визначити основні цільові групи потенційних споживачів. Це

дозволить сфокусуватися на ключових сегментах ринку, враховуючи їхні потреби та готовність інтегрувати нові технології моніторингу температури. (табл. 5.16).

Таблиця 5.16.

Вибір цільових груп потенційних споживачів

п/п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Просота входу у сегмент
	Медичні установи (клініки, лікарні, реабілітаційні центри)	Споживачі мають високий інтерес до інноваційних рішень для моніторингу стану здоров'я	Високий попит через необхідність постійного контролю стану пацієнтів	Висока	Складно через регуляції та сертифікацію медичних пристроїв
	Будинки для людей похилого віку	Споживачі зацікавлені в технологіях, які допоможуть підтримувати	Високий попит через зростаючу	Середня	Середня, через необхідність адаптації

		здоров'я та безпеку людей похилого віку	кількість людей похилого віку		до специфічних вимог
	Люди з хронічними захворюваннями або схильністю до їх розвитку (діабет, серцево-судинні захворювання)	Споживач і активно шукають технології для моніторингу свого стану і попередження ускладнень	Високий попит, оскільки ці люди потребують постійного контролю стану здоров'я	Середня	Середня, потребує створення доступних і зручних рішень для користувачів
	Фітнес-клуби та спортсмени	Споживач і шукають рішення для покращення фізичної форми та здоров'я, включаючи моніторинг пульсу, рівня кисню та інших показників	Високий попит серед активних спортсменів та користувачів фітнес-клубів, які активно слідкують	Середня	Легкий вхід, оскільки цей ринок вже має досвід роботи з різними технологіями для моніторингу фізичних показників

			за своїм здоров'ям		
<p>Обрані цільові групи — медичні установи, будинки для людей похилого віку, люди з хронічними захворюваннями та фітнес-клуби зі спортсменами — представляють основні сегменти ринку для проєкту «ThermoMonitor Pro»</p>					

Отже, можна зазначити, що проєкт «ThermoMonitor Pro» орієнтований на широкий спектр споживачів, включаючи медичні установи, будинки для людей похилого віку, людей із хронічними захворюваннями та фітнес-клуби.

Вибір конкретної цільової групи є важливим етапом у стратегії впровадження на ринок, але ключовим фактором залишається забезпечення універсальності продукту. Це включає його здатність адаптуватися до різноманітних потреб користувачів, таких як моніторинг стану здоров'я в реальному часі, віддалений збір і аналіз даних.

Для більш ефективної роботи з обраними цільовими групами та визначення шляхів розвитку проєкту необхідно сформувати базову стратегію розвитку, яка включатиме заходи, спрямовані на задоволення потреб кожного сегмента. Стратегія відображена в таблиці 5.17.

Таблиця 5.17.

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспромо жні позиції	Базова стратегія розвитку
----------	------------------------	---------------------------------	--	---------------------------------

	розвитку проекту		відповідно до обраної альтернативи	
1	Розширення функціоналу та можливостей системи, інтенсивна рекламна кампанія та розвиток партнерських відносин	Стратегія концентрованого зростання	Висока точність та надійність вимірювань, масштабованість, енергоефективність, гнучкість інтеграції, регулярні оновлення ПЗ	Стратегія диференціації за спеціалізованою та інноваціями

В ході аналізу стратегії розвитку для проекту «ThermoMonitor Pro» були визначені ключові напрямки для успішного виходу на ринок систем моніторингу температури.

Обрані стратегії дозволяють позиціонувати продукт як інноваційне та конкурентоспроможне рішення, орієнтоване на різноманітні сегменти споживачів, включаючи медичні установи, будинки для людей похилого віку, фітнес-клуби, логістичні компанії та приватних користувачів. Розширення функціональних можливостей, активна рекламна кампанія та розвиток партнерських відносин сприятимуть підвищенню впізнаваності продукту та залученню нових клієнтів.

Стратегія диференціації через інноваційні функції та адаптацію до потреб різних цільових груп забезпечує конкурентні переваги, що дозволяє створити стійку позицію на ринку.

Наступним етапом є вибір стратегії конкурентної поведінки, яка формуватиме подальший розвиток проєкту та допоможе ефективно реагувати на ринкові виклики. Обрану стратегію представлено у таблиці 5.18.

Таблиця 5.18.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопроходьцем » на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів ?	Чи буде компанія копіювати основні характеристик и товару конкурента, і які?	Стратегія я конкурентної поведінки
1	Ні	Буде і шукати нових споживачів, і частково забирати існуючих у конкурентів	Не буде, основою проєкту є розробка альтернативни х та інноваційних рішень	Стратегія я зайняття конкурентної ніші

Обрана стратегія конкурентної поведінки для проєкту «ThermoMonitor Pro» передбачає активний пошук нових споживачів серед таких груп, як медичні установи, будинки для людей похилого віку, фітнес-клуби та приватні користувачі. Компанія також частково орієнтується на залучення споживачів, які вже користуються продуктами конкурентів, проте основним завданням є впровадження інноваційних та альтернативних рішень, що дозволяють виділитися серед аналогів на ринку. Такий підхід спрямований на зайняття конкурентної ніші у сфері моніторингу температури та розширення функціональних можливостей для користувачів.

На основі проведеного аналізу сегментів ринку, обраної стратегії розвитку та конкурентної поведінки слід розробити стратегію позиціонування продукту (табл. 5.19).

****Стратегія позиціонування проєкту «ThermoMonitor Pro»**** підкреслює його високу точність, ефективність, надійність, масштабованість та простоту інтеграції. Орієнтуючись на впровадження інноваційних і спеціалізованих рішень, продукт відповідає потребам різних цільових груп, таких як промислові підприємства, логістичні компанії, сільськогосподарські виробники, медичні установи та приватні користувачі.

Ключові асоціації продукту — ****точність****, ****надійність**** та ****ефективність**** — є визначальними для створення конкурентних переваг. Вони підвищують довіру до продукту та сприяють його впізнаваності на ринку технологій дистанційного моніторингу. Це забезпечує сильні позиції на ринку та відповідає зростаючим вимогам споживачів до якості та функціональності подібних рішень.

Таблиця 5.19.

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Наявність надійного та точного моніторингу температури	Стратегія диференціації за спеціалізованою та інноваціями	Висока точність вимірювань, надійність системи моніторингу, масштабованість, простота інтеграції	Точність, надійність, ефективність

4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Для розроблення ефективної маркетингової програми для проєкту «ThermoMonitor Pro» необхідно визначити маркетингову концепцію товару, яка підкреслить переваги продукту, його унікальні характеристики та вигоди для кінцевого споживача.

На основі аналізу конкурентоспроможності продукту та потреб цільових груп, таких як промислові підприємства, логістичні компанії, сільськогосподарські виробники, медичні установи та приватні користувачі, було визначено ключові переваги концепції продукту. Вони сформульовані з урахуванням точності, надійності, енергоефективності та інтеграції продукту в різні сфери застосування. Узагальнені переваги концепції продукту представлені в таблиці 5.20.

Таблиця 5.20. Ключові переваги концепції продукту «ThermoMonitor Pro»

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Наявність точного моніторингу стану температури	Забезпечення точності вимірювань у реальному часі	Висока точність та надійність вимірювань порівняно з існуючими моніторинговими системами
2	Оперативність збору та аналізу даних	Швидке отримання та обробка даних для оперативного реагування	Миттєва обробка та аналіз даних з можливістю автоматичних сповіщень
3	Інтеграція з іншими системами	Використання даних у поєднанні з іншими платформами або пристроями	Сумісність з іншими платформами та системами для розширення функціональності

4	Простота використання та доступність для всіх	Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів	Зручність для людей похилого віку або з обмеженими можливостями, простота налаштувань
---	---	--	---

Аналізуючи ключові переваги концепції товару для проекту «ThermoMonitor Pro», можна зробити висновок, що він володіє унікальними характеристиками, які забезпечують високу конкурентоспроможність на ринку.

Завдяки своїм перевагам, таким як точність, надійність та зручність використання, «ThermoMonitor Pro» орієнтований на задоволення потреб різних категорій користувачів. Це робить продукт привабливим для таких груп, як промислові підприємства, логістичні компанії, сільськогосподарські виробники, медичні установи та приватні користувачі.

Для кращого розуміння характеристик і властивостей товару, було сформовано трирівневу модель продукту, яка враховує його основну цінність, реальні характеристики та додаткові переваги. Опис цієї моделі представлено в таблиці 5.21.

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Система моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних «ThermoMonitor Pro»		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Точні вимірювання параметрів здоров'я (пульс, температура, сатурація, тиск).	Нм М Нм	Тх Е Вр
	2. Швидкий збір і обробка даних в реальному часі.	М	Тх
	3. Легка інтеграція з існуючими медичними системами та платформами.	Нм	Е
	4. Постійні оновлення програмного забезпечення. 5. Зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів.		
Якість: висока точність, надійність і простота використання для різних категорій користувачів.			
Пакування: комплексна система моніторингу стану людини в комплекті з пристроєм для вимірювань, додатком для мобільних пристроїв і веб-платформою для віддаленого доступу та аналізу даних.			
Марка: ThermoMonitor Pro			

<p>III. Товар із підкріпленням</p>	<p>Після продажу система супроводжується технічною підтримкою, консультаціями з налаштування та інструкцією для користувачів. Також передбачено навчання користувачів на веб-платформі для ефективного моніторингу стану здоров'я та коригування налаштувань</p>
--	--

Із наведеної таблиці видно, що на першому рівні розкрито основну ідею проекту — систему моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних «ThermoMonitor Pro».

На другому рівні детально описані ключові характеристики та переваги проекту, такі як точність вимірювань основних показників, швидка передача даних для аналізу, енергоефективність, легка інтеграція з існуючими системами, регулярні оновлення програмного забезпечення та зручність у використанні. Це робить продукт конкурентоспроможним і здатним задовольнити потреби різних цільових груп: промислових підприємств, логістичних компаній, сільськогосподарських виробників, медичних установ та приватних користувачів.

Для встановлення ціни на товар необхідно врахувати цінові межі, які формуються на основі аналізу ринку конкурентів і платоспроможності споживачів.

Отримані цінові межі представлені в таблиці 5.22. Цей підхід дозволить визначити конкурентну ціну для «ThermoMonitor Pro», яка відповідатиме очікуванням користувачів і забезпечить успішне позиціонування продукту на ринку..

Таблиця 5.22.

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Від 5000 до 55000 грн	Немає аналогів в широкому доступі, ціна невідома	Від 15000 грн і вище	Від 10000 до 30000 грн

Для «ThermoMonitor Pro» межі встановлення ціни коливаються від 10000 до 30000 грн. Це обґрунтовано аналізом цін на товари-замінники та аналогічні медичні пристрої, а також доходами цільової групи споживачів.

Після проведеного аналізу ціни на «ThermoMonitor Pro» слід розробити систему збуту товару. Отриману систему представлено у таблиці 5.23 нижче.

Таблиця 5.23.

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функці ї збуту, які має виконувати постачальник товару	Глиби на каналу збуту	Оптималь на система збуту
1	Промислові підприємства, логістичні компанії,	Техніч на підтримка, налаштуванн я системи, інтеграція в	Ринок України	Продажі через офіційний веб-сайт, прями поставки, дистриб'ютори

	сільськогосподарські виробники	існуючі процеси		
--	--------------------------------	-----------------	--	--

Для «ThermoMonitor Pro» система збуту буде включати продажі через офіційний веб-сайт, співпрацю з промисловими підприємствами, логістичними компаніями та сільськогосподарськими виробниками. Основний акцент зроблено на прямих поставках та інтеграцію продукту в бізнес-процеси клієнтів, що забезпечить ефективність та зручність використання.

Наступним кроком є формування концепції комунікацій для маркетингу, яка базується на попередньому аналізі ринку, цільових груп і конкурентних переваг продукту. Ця концепція відображена у таблиці 5.24.

Таблиця 5.24.

Концепція маркетингових комунікацій

п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук продукту для контролю температур	Спеціалізовані технічні сайти, соціальні мережі, промислові виставки	Моніторинг температури, дистанційний контроль	Пояснення переваг і ефективності системи моніторингу температур	Акцент на точності вимірювань, простоті інтеграції, надійності

					ефективнос ті
--	--	--	--	--	------------------

Концепція маркетингових комунікацій для «ThermoMonitor Pro» полягає у підкресленні високої точності вимірювань, ефективності в моніторингу здоров'я та легкості використання. Основні канали комунікацій — медичні сайти, соцмережі та спеціалізовані заходи. Рекламні звернення повинні акцентувати увагу на унікальності продукту і його технологічних перевагах.

4.5. Організація реалізації стартап-проєкту

Для успішної реалізації проєкту «ThermoMonitor Pro» необхідно створити команду, яка забезпечить ефективне виконання всіх ключових завдань.

Основними учасниками команди є інженери, програмісти, маркетингологи та менеджери. Їхні функції чітко розподілені для забезпечення оптимальної роботи на всіх етапах розробки, виробництва та впровадження продукту. Розподіл завдань і обов'язків кожного учасника представлений у таблиці 5.25.

Таблиця 5.25.

Команда стартап-проєкту

Інженер-розробник	Керівник розробки	Розробити прототип системи моніторингу температури, забезпечити його функціональність.
Архітектор програмного забезпечення	Головний програміст	Розробити програмне забезпечення для системи моніторингу температури.
Менеджер проєкту	Керівник проєкту	Координувати роботу команди, визначити критичні точки та організувати виконання задач.
Спеціаліст з інтеграції систем	Інженер з інтеграції	Забезпечити сумісність системи моніторингу з іншими платформами або процесами.
Експерт з маркетингу	Спеціаліст з аналізу ринку	Провести маркетинговий аналіз, розробити стратегію просування продукту на ринку.
Інженер-розробник	Керівник розробки	Розробити прототип системи моніторингу температури, забезпечити його функціональність.

З метою забезпечення своєчасного виконання завдань створено детальний графік, який чітко визначає терміни та відповідальних осіб за кожен частину робіт. Створений графік подано у таблиці 5.26 нижче.

Таблиця 5.26.

Календарний план реалізації проекту

№ п/п	Зміст етапу													Собівартість реалізації	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Розробка прототипу системи моніторингу														5000\$
2	Розробка програмного забезпечення														2500\$
3	Тестування та налаштування функціональності системи														2000\$
4	Проведення аналізу ринку та розробка стратегії маркетингу														1200\$
5	Підготовка та запуск рекламної кампанії														1500\$
6	Випуск на ринок та подальша підтримка клієнтів														6000\$
Сума													18200\$		

Для проекту «ThermoMonitor Pro» повний процес розробки, виробництва та впровадження продукту оцінюється в 728 тис. грн.

Проект складається з кількох ключових етапів:

1. Розробка високоточного модуля для моніторингу температури.
2. Розробка конструкції та супутньої документації.
3. Створення програмного забезпечення.
4. Пошук інвестицій.
5. Запуск виробництва.
6. Організація продажу.

Ці етапи забезпечують комплексний підхід до реалізації проекту, сприяючи успішному запуску продукту на ринку.

Наступним кроком є формування таблиці вихідних витрат на компоненти та обладнання, необхідні для виготовлення модуля. Цей розрахунок дозволить оцінити основні статті витрат та визначити загальну вартість компонентів,

необхідних для розробки прототипу та серійного виробництва. Розрахунки наведені у таблиці 5.27.

Таблиця 5.27. Вихідні витрати на компоненти та обладнання для проєкту «ThermoMonitor Pro»

Таблиця 5.27.

Витрати на виробництво

№ п/п	Компонент/Обладнання	Орієнтовна вартість за одиницю, грн	Кількість, шт	Загальна вартість, грн
1	Мікроконтролер STM32	250	10	2500
2	Датчик температури GY-906	450	10	4500
3	ESP-01 для передачі даних	120	10	1200
4	Електронні компоненти (резистори, конденсатори, тощо)	150	10	1500
5	Корпус для модуля	300	10	3000
6	Друковані плати	400	10	4000
7	Програмне забезпечення (ліцензії та розробка)	100000	1	100000
8	Витрати на тестування	2000	1	2000
Разом				

ВИСНОВКИ ДО 5 РОЗДІЛУ

У цьому розділі розглянуто перспективи впровадження системи дистанційного моніторингу температури на основі пірометрів — «ThermoMonitor Pro».

Проект має велике значення в контексті сучасних вимог до моніторингу температурних показників у різних галузях, таких як промисловість, логістика, сільське господарство та медичні установи. Система дозволяє точно і своєчасно відстежувати температурні показники об'єктів або середовища, забезпечуючи зручність у віддаленому контролі та аналізі даних. Це особливо важливо для підприємств, які потребують постійного моніторингу температури для підтримання якості продуктів або безперебійного функціонування обладнання.

Розроблений календарний план реалізації проєкту оцінює загальну вартість етапів на рівні приблизно 22,300 доларів США. Процес реалізації включає кілька ключових етапів, таких як створення високоточних модулів для моніторингу температури, розробка конструкції пристрою, програмного забезпечення для збору та обробки даних, а також тестування отриманого продукту. План також передбачає залучення інвестицій через платформи для запуску стартапів, такі як Kickstarter, а також участь у спеціалізованих технічних виставках. Це дозволить забезпечити необхідне фінансування для запуску виробництва і виходу проєкту на ринок.

Висновок підтверджує важливість та актуальність впровадження «ThermoMonitor Pro» як інноваційної системи для дистанційного моніторингу температури. Реалізація цього проєкту сприятиме підвищенню ефективності у різних галузях, розширенню можливостей автоматизації процесів і наданню підприємствам зручного інструменту для віддаленого контролю температурних показників у реальному часі.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було досягнуто основної мети дослідження — створення системи дистанційного моніторингу температури на основі пірометра MLX90614 з автоматичною передачею даних на хмарну платформу. Для цього було проведено аналіз існуючих методів вимірювання температури та систем моніторингу, що дозволило визначити їхні недоліки, такі як висока вартість та обмеженість у застосуванні, а також обґрунтувати доцільність використання пірометрії разом із сучасними технологіями бездротової передачі даних.

У роботі розроблено алгоритм обробки даних для точного вимірювання температури, який базується на отриманні сигналів із пірометра MLX90614 і їх перетворенні у фізично зрозумілу величину — температуру в градусах Цельсія. Важливим етапом стала оптимізація алгоритму передачі даних через модуль ESP-01 на платформу ThingSpeak. Було враховано специфіку роботи мережі та використано ефективний механізм передачі через HTTP-запити, що дозволило забезпечити стабільну й швидку передачу температурних даних.

Результатом роботи стала автоматизована система моніторингу температури, яка інтегрує апаратну та програмну частини. Ця система забезпечує відображення результатів у реальному часі, надає можливість зберігати дані для подальшого аналізу та налаштовувати сповіщення про перевищення критичних температурних значень. Реалізована система може бути використана в різних галузях, де дистанційний контроль температури є важливим, зокрема в промисловості, енергетиці, медицині та інших сферах.

Список використаних джерел:

1. Протасов, А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.
2. Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с
3. Муравйов, О. В. Передача даних та сучасні методи обробки сигналів. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник / О. В. Муравйов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 55 с.
4. Галаган Р.М. Модель восстановления серии изображений из смазанного изображения для решения задачи высокоточного измерения диаметра и температуры излучающих объектов / Р.М. Галаган, А.В. Муравьев, А.С. Томашук // Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій, 2019. – С. 169-171.
5. I. Lysenko, V. Uchanin, V. Petryk, Y. Kuts, A. Protasov and A. Alexiev, "Intelligent Automated Eddy Current System for Monitoring the Aircraft Structure Condition," 2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 1-5.
6. Застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумівій дефектокопії / М. О. Редька, Ю. В. Куц, Є. В. Шаповалов, В. М. Учанін, Ю. Ю. Лисенко, О. Д. Близнюк // Технічна діагностика і неруйнівний контроль. – 2022. – №1. – С. 45-53.
7. Назаренко Л.А. Фізичні основи джерел світла: навч. посіб. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 201 с.

8. Куц Ю.В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник /Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с
9. Куц Ю.В. Новітні системи та технології: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с.
- 10.Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с
- 11.Momot A. Deep Learning Automated System for Thermal Defectometry of Multilayer Materials / A. Momot, R. Galagan, V. Gluhovskii. // Devices and Methods of Measurements. – 2021. – №12. – pp. 98–107.
- 12.Steshenko Y. V. Automation of the process of segmentation of images of metal surface defects using the neural network U-Net / Y.V. Steshenko, A.S. Momot, A.G. Protasov O.V. Muraviov //
- 13.Breast Tumor Segmentation from Ultrasound Using Deep LearningMATLAB & Simulink [Electronic resource] // MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink.
- 14.Long J. Fully convolutional networks for semantic segmentation [Електронний ресурс] / Jonathan Long, Evan Shelhamer, Trevor Darrell // 2015 IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), Boston, MA, USA, 7–12 June 2015. – [S. 1.], 2015
- 15.Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с

16. Гавриш, О.А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К.О. Копішинська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с.
17. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с
18. DoubleU-Net: a deep convolutional neural network for medical image segmentation [Електронний ресурс] / Debesh Jha [та ін.] // 2020 IEEE 33rd international symposium on computer-based medical systems (CBMS), Rochester, MN, USA, 28–30 July 2020. – [S. l.], 2020.
19. Муравйов О. В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини / О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Ю. Ю. Лисенко, Г. А. Богдан, А. В. Наконечная // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2022. – №1. – С. 47-53
20. Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Галаган Р.М., Муравйов О.В., Момот А.С. Бездротові технології в автоматизації неруйнівного контролю. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том 32 (71), № 5. с. 25-29.
21. Galagan, R. and Momot, A. Analysis of application of neural networks to improve the reliability of active thermal NDT. KPI Science News. 2019. Vol.1, pp. 7-14.
22. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами [Електронний ресурс] : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. – 115 с.
23. Технології теплового неруйнівного контролю. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А. Г. Протасов, Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 90 с.